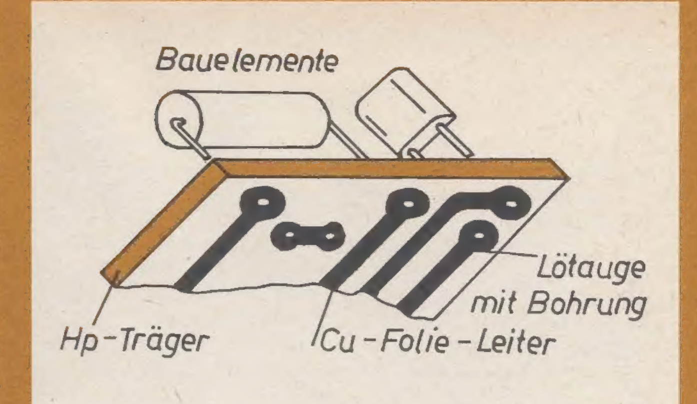
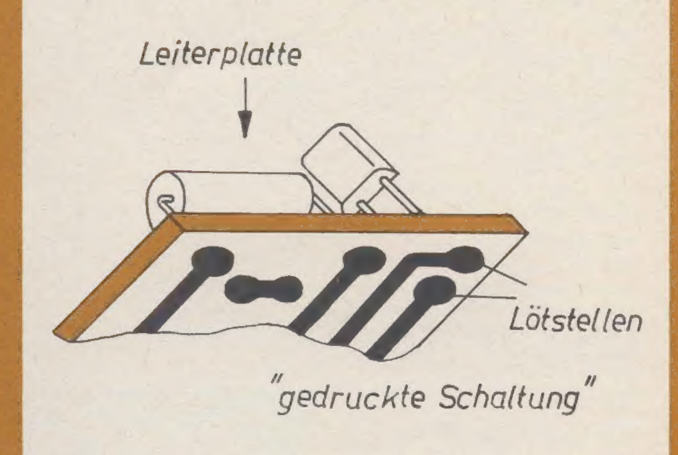



Bauplan 51
Preis 1,– M







**Klaus Schlenzig**

# Leiterplatten selbstgemacht

## Inhalt



# 1. Einleitung

Vor nun schon rund einem Vierteljahrhundert wurde in der Amateurliteratur zum erstenmal über den Einsatz von Leiterplatten berichtet. Vor über 20 Jahren erschien dazu in der Reihe »Der praktische Funkamateur« die erste Broschüre, und mehr als 10 Jahre sind vergangen, seit erstmals ein Bauplan entstand, der ausführlich das Herstellen von Leiterplatten beschrieb. Es ist an der Zeit, dem gegenwärtigen Stand angepaßte Anleitungen zum rationellen Anfertigen von Leiterplatten vorzustellen. Den Lesern der Bauplanreihe, die in jedem neu erscheinenden Bauplan zum Einsatz der »gedruckten Schaltung« angeregt werden, kommt ein Bauplanthema dieser Art sicherlich sehr entgegen. Im folgenden kehrt sich also die Thematik einmal um: Normalerweise steht das Gerät im Mittelpunkt, das durch die Bauanleitung beschrieben wird, und die notwendigen technologischen Verfahren dafür sind im Abschnitt »Praktischer Aufbau« enthalten. Im folgenden wird von den Verfahren ausgegangen, mit denen sich heute die meisten elektronischen Schaltungen auch des Amateurs aufbauen lassen, und sie werden dann an Hand praktischer Beispiele beschrieben. Zunächst werden die Voraussetzungen für den Entwurf von Leiterbildern genannt und dann alle Schritte bis zur bestückten Leiterplatte, also zur elektrisch funktionsfähigen »gedruckten Schaltung«, erläutert. Dem schließt sich das Vorstellen einiger vielseitig verwendbarer Einheiten an.

# 2. Sinn und Zweck von Leiterplatten

Bekanntlich ist eine Leiterplatte ein metallisch beschichteter Träger aus Isolierstoff, bei dem sich (im einfachsten Fall) auf der einen Seite die Bauelemente der Schaltung und auf der anderen die für ihre elektrische Verbindung nötigen Leiterzüge befinden, die meist aus Kupferfolie bestehen. Bauelementeanschlüsse und Leiterzüge sind durch Lötzinn miteinander verbunden. Die rationellen Fertigungsmöglichkeiten eines solchen Gebildes, das nicht nur zu großen Teilen das herkömmliche Chassis ersetzen konnte, sondern gleichzeitig die zeitraubende Arbeit des Verdrahtens auf die des Bestückens und Lötens reduzierte, dürften zu den Hauptgründen für die industrielle Nutzung dieser Technik gezählt haben. Außerdem spielten aber noch solche wichtigen Argumente eine Rolle, wie sie sich in den Begriffen Servicefreundlichkeit, Zuverlässigkeit, Standardisierung u. ä. ausdrücken. Im Wechselspiel mit diesen Faktoren erkannten die Geräteentwickler und -konstrukteure manchen anderen Vorteil: mögliches Reproduzieren der elektrischen Daten, Ausnutzen der Leiterplatte für eine Reihe »gedruckter« Bauelemente (Spulen, Kondensatoren, Steckverbinder), steckbare Bausteine, Modultechnik usw. Unter dem Begriff »rationelle Fertigung« boten sich dem Technologen günstige Bedingungen für das Bestücken (bei Großserien sinnvoll automatisierbar!), Tauchlöten, vereinfachtes Befestigen (Schrauben werden immer seltener!), automatische Prüfgänge usw. Auch beim Entwurf von Leiterplatten geht man immer mehr zu automatisierten Abläufen über. Der »computer«-gestützte Entwurf von Leiterplatten ist heute in der ganzen Welt Stand der Technik; dabei besteht eine Wechselwirkung zwischen »herkömmlicher« Leiterplatte und integrierten Schaltkreisen. Die produktionsintensiven Verfahren des teilautomatischen Sieb- und des vollautomatischen Offsetdrucks für Großserien gelten dagegen schon fast als »klassische« Methoden innerhalb der Leiterplattentechnologien.

Für den Amateur wurde die »Technik der gedruckten Schaltung« u. a. aus folgenden Gründen interessant: reproduzierbarer Nachbau von Literaturvorlagen und damit (bei fehlerfreiem Arbeiten) hohe Funktionsgarantie, einfache Fehlersuche, einfaches Wechseln von Bauelementen, einfache Befestigungsmöglichkeiten durch Einstecken und Löten, hohe Stabilität der Schaltung bei kleinem Volumen. Die Übersichtlichkeit einer Schaltung »erkauft« man sich allerdings durch ein gründliches Hineindenken bei eigenen Entwürfen, denn das oberste Gebot dabei, kreuzungsfrei zu bleiben, läßt sich anfangs nicht immer leicht einhalten. Dafür gewinnt man nicht nur immer wieder nutzbare Erfahrung, sondern kann sich auch in die nach diesen Verfahren entstandenen Geräte leichter hineindenken – bis zur erfolgreichen Reparatur.

Nur wenige spezielle Bauelemente passen nicht auf die Leiterplatte, und das hat auch gute Gründe, sei es aus thermischer oder aus mechanischer Sicht. Viele Bauelemente dagegen sind überhaupt nur noch zusammen mit der Leiterplatte zu verwenden und haben teilweise so hohe Anschlußdichten, daß man schon gut mit der Materie vertraut sein muß, wenn man diese Bauelemente ohne Kurzschlüsse auf der Leiterplatte einsetzen will. Bild 1 zeigt typische Beispiele einschließlich einer Flat-pack-Schaltung mit nur 1,25 mm Anschlußraster, die leiterseitig (z. B. auf keramischen Leiterplatten in »Dickschichttechnik«) präzise zu montieren ist. Gegenüber den »klassischen« Leiterplattenstandards mit ihrem 1,3-mm-Loch im 2,5-mm-Raster (Ausnahme 1-mm-Loch und halbiertes Raster) werden bei modernen Bauelementen der Mikroelektronik abhängig von den Anschlußdurchmessern kleinere Durchbrüche vorgesehen, die entsprechend dichtere Leiterbilder erlauben (man spricht – je nach Loch- und Leiterzugabstand – von verschiedenen Schwierigkeitsgraden) und manche Grenzen der »ersten Leiterplattengeneration« merklich verschieben.

Es wird wohl immer eine Reihe von Fällen geben, bei denen der Einsatz von Leiterplatten ungünstig oder unsinnig ist. Das betrifft Schaltungen, die z. B. sehr hohe Spannungen verarbeiten oder erzeugen sollen oder bei denen der Frequenzbereich zu speziellen Konstruktionen zwingt. Innerhalb eines Geräts trifft man jedoch auch auf Stellen, wo eine Leiterplatte aus Aufwandsgründen nicht lohnt, weil Anzahl oder Art der Bauelemente einfachere Anordnungen nahelegen. Eine Kombination aus wenigen, speziell geformten oder relativ großen Bauelementen verdrahtet man viel rationeller direkt. Auch bei ersten Versuchen mit begrenzter Bauelementezahl ist freies Verdrahten oder ein Versuchsbrett durchaus sinnvoll.

# 3. Materialfragen

Das dem Amateur vorwiegend zugängliche Halbzeug besteht aus 1,5 mm dickem Hartpapier mit einer etwa 25 $\mu$m dicken Kupferauflage. Ihre Haftfestigkeit genügt den normalen Beanspruchungen, wenn nicht unvernünftig lange und mit zu hoher Löttemperatur gelötet wird. Außerdem sind beim Bestücken bestimmte Grundregeln zu beachten (kein Belasten des Lötauges von der Hartpapierfläche weg, daher Bauelementeanschlüsse bei der Montage entsprechend entlasten). Bei Bedarf gelingt es jedoch, Foliepartien nach Einritzen abzuziehen – eine für den Amateur oft recht zeitsparende Möglichkeit für das Herstellen einfacher Leitungsmuster. Neben dem »einfachkaschierten« Hartpapier erhält man bisweilen auch doppelt-, d. h. 2seitig kaschiertes, das sich u. a. auch vorteilhaft für den Gehäusebau verwenden läßt. 2seitige Leiterbilder stellen höhere Anforderungen an den Amateur, werden aber besonders beim Einsatz vieler integrierter Schaltkreise immer häufiger notwendig, doch sollte der Anfänger zunächst genügend Erfahrungen an 1seitig kaschiertem Material sammeln, bevor er solche »Zweilagenschaltungen« entwirft. Schließlich gibt es noch spezielles Material mit glasfaserverstärktem Epoxidharzträger, Handelsbezeichnung *Cevausit*. Der Anfänger sollte jedoch davon zunächst keinen Gebrauch machen, da

Sägezähne und Bohrer beim Bearbeiten stark verschleißen. Seine besseren Isolationseigenschaften werden in Anfängerschaltungen ohnehin kaum benötigt. Abgesehen vom höheren Preis ist es z. B. für einfache Ritzschaltungen nicht zu empfehlen, da die Oberflächenstruktur sauberes Ritzen erschwert und weil die (meist) ausgezeichnet haftende Folie auch dem gewollten Abziehen recht gut widersteht. Besitzer einer kräftigen Foto-Hebelschere können – etwas Übung vorausgesetzt – dieses Material aber rationell schneiden, statt es zu sägen. Kleiner Tip am Rande: Die Rauhigkeit der entstehenden Kanten kann man durch Aneinanderreiben der Kanten von 2 *Cevausit*-Stücken leicht glätten. Im übrigen: Einatmen des dabei sowie beim Sägen und Bohren entstehenden Glasstaubs vermeiden!

Kupferkaschiertes Hartpapier läßt sich mit der Laubsäge und auch mit handgetriebener Bohrmaschine gut bearbeiten; eine Ständerbohrmaschine ist allerdings wegen der kleinen Bohrerdurchmesser zweckmäßiger. Auch die Handbohrmaschine sollte man einspannen und die Leiterplatte von Hand führen.

Das kupferkaschierte Halbzeug ist Ausgangsmaterial für die Leiterplatte, die prinzipiell 2 Funktionen erfüllt: Auf ihr befinden sich die Bauelemente (mechanisch in ihrer Sollage fixiert, sie ist also eine Art modernes Chassis), und sie stellt die Verbindungen zwischen ihnen her. »Verdrahtung« und »Chassis« bilden also in Form der Leiterplatte eine Einheit. Die mit Bauelementen bestückte Leiterplatte nennt man gedruckte Schaltung (Bild 2). Die Verbindungsstellen zwischen den Bauelementeanschlüssen und dem Leitungsmuster heißen Lötaugen. Sie umschließen das Loch, durch das (von der Bestückungsseite her) der Bauelementeanschluß geführt wird. Kurz über dem Lötauge schneidet man ihn ab und lötet ihn an die Folie. Aus mechanischen Gründen und wegen möglicher Toleranzen zwischen Leiterflächen und Löchern kann das Lötauge nicht beliebig klein werden. Auch die Leiterzüge zwischen den Anschlüssen unterliegen bestimmten Forderungen: Ihre kleinste Breite wird nicht nur von den Möglichkeiten des Herstellverfahrens bestimmt, sondern auch von der Belastbarkeit. Der heute nur noch 25 µm dicke Leiter hat nämlich bereits einen merklichen Widerstand; außerdem ist sein Querschnitt ziemlich klein. Wenn aber gegenüber einem runden Leiter gleichen Querschnitts diese Folie eine bessere Wärmeabfuhr gewährleistet, muß man doch Grenzwerte beachten, die von den Daten der Schaltung her oft schnell erreicht werden. (Bild 3 gibt dazu die notwendigen Informationen, bezogen auf die bisher noch vorwiegend benutzte Folie von 35 µm Dicke – Umrechnen dürfte problemlos sein!)

## 4. Verfahren zum Herstellen von Leiterplatten (kurze Übersicht)

Je nach geforderten Stückzahlen und Genauigkeitsbedingungen (Leitungszug- und Lötaugendichte, Reproduzierbarkeit – z. B. bei gedruckten Spulen – u. ä.) wählt man eins der in Tabelle 1 zusammengestellten und bewerteten Verfahren aus. Mehr zu den verschiedenen Möglichkeiten kann man in der Literatur nachlesen. Im Bauplan werden nur die »amateurgerechten« Verfahren näher behandelt, besonders die mit kleinem Aufwand (z. B. bleibt der Siebdruck unberücksichtigt).

## 5. Vom Stromlaufplan zum Leiterbild

### 5.1. Grundregeln

Auf der Leiterplatte befindet sich ein 2dimensionales Muster leitender Kupferflächen, mit denen die Bauelemente der Schaltung verbunden werden. Es ist daher – außer mit zusätzlichen, isolierten Drähten – nicht möglich, daß sich 2 Leitungen kreuzen können. Das Leiterbild einer 1seitig kaschierten Platte läßt also keine Kreuzungen zu. Das kreuzungsfreie Auslegen aller nötigen Verbindungen auf der meist vorgegebenen Fläche ist die Grundforderung an den Entwurf von Leiterbildern auf 1seitig kaschiertem Material. Es gehört schon einige Erfahrung dazu, bereits im ersten Entwurfsstadium zu entscheiden, was günstiger ist:

- intensives Durchdenken der Anordnungsmöglichkeiten zum Herstellen einer 1seitig kaschierten Leiterplatte ohne Kreuzungen
- Einsatz einiger Kreuzungen über bauelementeseitig angebrachte, z. B. durch Stecklötösen gestützte Drähte zum rationelleren Entwurf, dafür aber mit etwas Mehraufwand beim Bestücken (und Prüfen!) – für den Amateur oft die sinnvollere Variante!



- Verwenden einer 2seitig kaschierten Platte mit ihren Problemen bei Entwurf (doppelter Aufwand!), Herstellen und Bestücken sowie bei ihrer Prüfung (Verfolgen von Leiterzügen!).

Die nutzbare Fläche leitet sich aus dem im Gerät vorhandenen Raum und aus dem Platzbedarf der Bauelemente ab. Ihre Kantenmaße sind in der Industrie nach den einschlägigen Standards im Sprung von 5 mm oder 10 mm gestaffelt, so daß jede neue Leiterplatte in die universell ausgelegten Fertigungseinrichtungen paßt. Baukastensysteme bringen Formatbeschränkungen, nach denen sich der Amateur aber nur richten muß, wenn er sich weiterer Konstruktionselemente solcher Systeme bedient. (Ein bekanntes Beispiel ist die auch für Amateure noch immer sehr praktische *Zeibina*-Steckverbindung.) Im allgemeinen genügt es den Amateurbelangen, wenn man die Plattenmaße im Rastersprung von 2,5 mm staffelt und die Kanten auf Rasterlinien legt. Bald wird sich aber zeigen, daß – angepaßt an die Gerätevorhaben – wenige Plattenformate für den Eigenbedarf genügen, je nach gewählter Technik (Bauelementeaufwand) und Gehäuseform.

Die »längergedienten« Bauplanleser kennen z. B. folgende Vorzugsformate, die jeweils bestimmten Komplexitätsgraden der untergebrachten Schaltung, bezogen auf die gegebene Bauelementebasis, entsprachen:

- 20 mm × 25 mm, 25 mm × 40 mm: vorwiegend mit Miniatur-Spezialsteckverbindungen kontaktierte Bausteine der »Transistor-Ära« der 60er und beginnenden 70er Jahre, als die Preise der Halbleiter-Bauelemente noch die Mehrfachverwendung jeder Leiterplatte nahelegten (»Amateurelektronik-System«), aber auch für häufig kombinierbare Steckbausteine mit niedrigintegrierten Schaltkreisen, z. B. zu Lehrzwecken oder Experimenten zur Digitaltechnik, vgl. vor allem Bauplan 37!
- 35 mm × 80 mm: bereits mit Lötösen kontaktierte Mehrzweckbausteine der komplexeren Phase der Transistortechnik im Rahmen des genannten Systems; beginnender Übergang zum Einsatz integrierter Schaltkreise. (Man vergleiche z. B. den Leistungsverstärker *LVB* 1, vollgepackt mit diskreten Bauelementen, mit dem *LVB* 3 gleichen Gebrauchswerts, bestückt mit einem *A 211 D*, beide parallel wahlweise vorgestellt in Bauplan 38.)
- 40 mm × 50 mm, 50 mm × 80 mm: vielseitig nutzbare Formate sowohl für Anfängerschaltungen, vorwiegend noch diskret bestückt (d. h. mit »klassischen« Einzelbauelementen; vgl. Bauplan 41 und Bauplan 49), als auch für integrierte Schaltkreise (Zweckmäßigkeitsbeweise liefern u. a. die Baupläne 42, 43, 46, 47). Die Verbreiterung gegenüber früheren Formaten erlaubt im allgemeinen in den Ecken Befestigungsbohrungen, so daß sich die Montage der Baugruppe auf einem Träger oder im Gehäuse vereinfacht.

Die Bauelemente werden nach den für die Eigenarten der Schaltungen geltenden Gesichtspunkten angeordnet: Schaltungen mit hoher Gesamtverstärkung erfordern einen gut entkoppelten Ein- und Ausgang, damit keine Selbsterregung eintritt. Die Bauelemente werden daher weitgehend nach dem Signalweg laut Stromlaufplan angeordnet. Die Masseverbindungen sollten als Sternerdung angelegt sein. Ähnliches gilt für HF-Schaltungen und für solche, die »steile« Impulse verarbeiten sollen. Dort haben die geforderten kurzen Leitungen besondere Bedeutung, denn jede Leitung wirkt als Induktivität; zwischen 2 parallellaufenden Leitungen bilden sich Kapazitäten aus, die zu Verkopplungen führen, und schließlich hat jeder Folieleiter einen nicht zu vernachlässigenden Widerstand. Über ihn können z. B. galvanische Verkopplungen eintreten, wenn die betreffende Leitung zur Masseführung zweier Stufen gehört, die dadurch unerwünscht aufeinander einwirken. Richtwerte für L, C und R von Folienleitern findet der Fortgeschrittene (für den sich solche Betrachtungen erst lohnen) z. B. in dem in Abschnitt 9. genannten Buch.

Jeder Bauelementeanschluß erfordert in der Leiterplatte einen Durchbruch mit umschließendem Lötauge. Beim Einführen von 2 Anschlüssen würden sich bei Reparaturen Schwierigkeiten ergeben. Normalerweise benutzt man das 1-mm-Loch im Raster von 2,5 mm (Bild 4); für Anschlußdrähte etwa ab 0,7 mm Durchmesser, Einstellpotentiometer, Lötösen und für ältere Bauelemente mit mehreren Anschlüssen (z. B. Relais) sind 1,3 mm erforderlich. Der Amateur geht also am besten vom Durchmesser 1 mm aus und bohrt nur die Löcher auf, für die das erforderlich ist. (Das muß aber schon durch einen entsprechend größeren Lötaugendurchmesser vorbereitet werden!) Als Empfehlung für die Mindestgröße von Lötaugen und für die Möglichkeit, zwischen ihnen zum Erreichen kreuzungsfreier Muster noch wenigstens einen Leiterzug hindurchzuführen, gelten unter den im Bauplan gegebenen Herstellungsbedingungen die Grenzfälle gemäß Bild 5. Die Bauelemente lassen sich auch aus anderen Gründen nicht beliebig dicht anordnen. Die in Tabelle 2 empfohlenen Lötaugenabstände für verschiedene Bauelemente sollten beim Entwurf von Leiterbildern stets herangezogen werden, denn sie ersparen unnötiges Probieren. Nur in Ausnahmefällen und mit größter Vorsicht kann ein Anschluß in einem kürzeren Abstand abgebogen werden.

Gerade Widerstände und Dioden beanspruchen auf diese Weise eine recht große Fläche. Daher ist die stehende Montage beim Amateur, der ja nicht maschinell bestückt, in all den Fällen sinnvoll, bei denen ohnehin schon durch andere Bauelemente eine größere Bauhöhe gebraucht wird, für die keine extremen Stabilitätsforderungen vorliegen und wo Platz gespart werden muß. Bild 6 gibt auch dazu Empfehlungen. Neben dem »klassischen« Auslegen des Leiterbildes in Form kreisrunder Lötaugen und schmaler Leiterzüge (für das »Positiv«-Zeichnen des Musters und für Klebeverfahren zum Gewinnen von Vorlagen sowie in der »leiterzugintensiven« Digitaltechnik günstig) benutzt man oft eine Art Trennlinienmuster mit fließenden Übergängen (Bild 7). Freigelegt werden dort nur die Umrandungen der voneinander zu trennenden Flächen. Das ergibt ein Maximum an Lötfläche sowie niederohmige Leitungen und minimalen Ätzmittelverbrauch. Praktisch ist das erfahrungsgemäß infolge der Abläufe im Ätzbad meist sogar noch mit verminderter Ätzzeit verbunden. Wegen dieser Vorteile sollte man daher beim Zeichnen von Deckschichten den etwas größeren Zeitbedarf nicht scheuen. Wendet man das fotomechanische Verfahren (Variante mit Negativ-Kopierlack) mit gezeichnetem Negativ an, dann erfordert umgekehrt diese Musterart sogar den geringsten Zeichenaufwand, da einfach nur die späteren Trennlinien auf der sonst durchsichtig bleibenden Folie schwarz abgedeckt werden.

Wenig geeignet sind solche Muster allerdings bei höheren Spannungen und ungünstigen Umweltbedingungen (Verschmutzung, Feuchte, dadurch leitende Brücken). Beides tritt aber in der Sphäre des Anfängers kaum auf.

## 5.2. Der Weg zum Leiterbild

Bleiben die Leiterbilder für Versuchsschaltungen unberücksichtigt, die für den Anfänger nur selten in Frage kommen, so muß zunächst der Stromlaufplan der gewünschten Baugruppe oder des Geräts klar sein, bevor man mit dem Entwurf der Leiterplatte beginnen kann. Daraus ergibt sich die Stückliste der benötigten Bauelemente. Unter mehreren angebotenen Varianten wählt man das »leiterplattenfreundlichste« Bauelement. Das bedeutet: möglichst nur Anschlüsse, die in das Standardloch passen, im Vergleich zu den übrigen Bauelementen günstiges Verhältnis von Breite zu Höhe (Füllgrad der Schaltung!), leichte Auswechselbarkeit bei Reparaturen, kleinstmögliches Volumen, möglichst isolierter Körper (im Interesse dichter Packung ohne Kurzschlußgefahr beim Berühren mit anderen Bauelementen). Danach ist die zulässige Fläche zu beachten, die vom geplanten Gerät, seinen Proportionen und seinen übrigen Bauelementen abhängt. Große Durchbrüche in der Leiterplatte sollte man vermeiden; dadurch spart man Material, und es ist kein schwieriges Bearbeiten notwendig. Vorteilhafter erscheint dann das Aufteilen in einzelne Einheiten, die in sich möglichst elektrisch abgeschlossen sind (»Baugruppentechnik«) und die man unter Umständen mehrfach einsetzen kann.

Die Fläche kann nicht kleiner werden, als es die Bauelemente zulassen. Man sollte auch nicht versuchen, durch Stapeln mehr zu erreichen. Dadurch wird die Schaltung unübersichtlich und ist schwer zu reparieren.

Liegen alle Bauelemente (oder ihnen äußerlich gleiche) vor, so versucht man, sie gemäß Abschnitt 5.1 auf der vorgegebenen Fläche unterzubringen. Der folgende Weg hat sich dabei gut bewährt. Er eignet sich zum Einarbeiten in die Materie, z. B. für die »allererste« Leiterplatte, bei der es noch nicht auf die günstigste Aufteilung ankommt und an der man zunächst einmal kreuzungsfreies Denken üben will. Des weiteren kann man ihn für Platten benutzen, die nicht in ein knapp bemessenes Gehäuse passen müssen, und für Versuchsaufbauten, aber auch für Steckkarten einheitlichen Formats, die doch in vielen Fällen nicht besonders dicht bestückt werden, bei denen es aber um flache Bauweise geht.

Jeder Stromlaufplan ist entsprechend dem Signalweg so aufgeteilt, daß die Reihenfolge der Bauelemente und Stufen schon die prinzipielle Anordnung auf der Leiterplatte vorwegnimmt. Man erkennt auch sofort, welche Leitungen durchgezogen sind (z. B. Stromversorgung) und daß viele Bauelemente in vertikaler Richtung liegen. Leitungskreuzungen im Stromlaufplan lösen sich daher meist einfach dadurch auf, daß man eine der sich kreuzenden Leitungen so weit verschiebt, bis sie unter einem Bauelement hindurchführt. Durch diese Darstellungsart würden allerdings übliche Stromlaufpläne unübersichtlicher. Deshalb ist sie erst beim Umsetzen in den Leiterbildentwurf der Leiterplatte berechtigt. Bild 8 verdeutlicht diesen Weg.

Dieses Ablesen der kreuzungsfreien Verdrahtung vom Stromlaufplan erfordert allerdings ein gewisses Umdenken bezüglich der realen Lage der Bauelemente, denn ihre Symbole geben ja keine Auskunft über ihre tatsächliche Größe (abgesehen von den Werteangaben, aus denen man über die betreffende



TGL darauf schließen kann). Daher ist es günstig, daß alle Bauelemente körperlich vorliegen, bevor Leiterbild und Bestückungsplan entworfen werden. Es gelingt nun bei entsprechenden Zugeständnissen an die Leiterplattengröße, ohne allzuviel Denkarbeit und Probieren aus dem Stromlaufplan eine kreuzungsfrei bemusterte Leiterplatte zu entwickeln. Das kann bei kleineren Einheiten ausschließlich auf dem Papier geschehen. (Diese Schritte sind weiter unten dargestellt.) Bei größeren Schaltungen oder dann, wenn Mindestforderungen an die Packungsdichte bestehen, empfiehlt sich eine 3dimensionale Anordnungskontrolle, während der vielleicht einige Bauelemente, die zunächst liegen, stehend angeordnet werden, weil das für das Gesamtvolumen günstiger erscheint. Aus dieser Kontrolle erkennt man z. B. auch die günstigste Lage von Bauelementen im Gerät, die sich außerhalb der Leiterplatte befinden (Bedienungs- und Informationsorgane) und die räumlich mit ihr zusammenpassen sollen. Für einen solchen Kontrollaufbau (noch ohne Verdrahten) eignen sich Lochrasterplatten sehr gut, wie man sie z. B. früher im Format 35 mm × 80 mm als Teil des Systems »Komplexe Amateurelektronik« erhielt. Sie tragen in jedem Punkt des 2,5-mm-Rasters einen 1,3-mm-Durchbruch. Diese Platte läßt sich für Bestückungsversuche ausnutzen, wenn man sie z. B. auf eine Schaumpolystyrolplatte legt. Die Bauelementeanschlüsse können meist ihre volle Länge behalten, müssen nicht umgebogen werden und finden im Schaumstoff ausgezeichneten Halt (Bild 9).

Man kann auch (nach einer bestimmten Einarbeitungszeit) sofort mit der aus dem Stromlaufplan erkannten möglichen Anordnung auf einer solchen Rasterplatte beginnen oder schließlich fast ohne sie auskommen. Bei entsprechender Übung wird dann der Entwurf auch von relativ eng gepackten Leiterplatten gelingen, wobei höchstens noch Teile der Anordnung auf einer Lochrasterplatte während des Entwurfs auf ihre Zulässigkeit hin überprüft werden. Unabhängig von diesen »Erfahrungsstufen« gelten die Empfehlungen für die folgenden Schritte. Sie wurden auf die »mittlere Stufe« abgestimmt, d. h. auf den Fall, daß man mit der Anordnung auf der Lochrasterplatte beginnt. Als nächstes überträgt man die unter Berücksichtigung von Tabelle 2 ermittelte Anordnung auf Millimeterpapier. Dort werden alle Anschlußpunkte und die Bauelementeumrisse markiert. Auf Grund der Übernahme von der Lochrasterplatte ergibt das die Ansicht der Bestückungsseite (»Bestückungsplan« – er lag bei der als erste beschriebenen Methode vor!). Die gemäß Stromlaufplan durchnumerierten Bauelemente (man verzichtet am besten auf »R« und »C« usw. und wählt aus Übersichtsgründen durchlaufende Zahlen) werden auf diesem Blatt numeriert. Auch alle anderen Teile, die auf der Leiterplatte Platz finden sollen, z. B. Lötösen, Winkel u. ä. kann man mit Nummern versehen. Ein darübergelegtes und befestigtes Transparentpapier übernimmt diese Informationen. Man kann auch sofort auf dem Transparentpapier zeichnen und das Millimeterpapier nur als Unterlage zum Auffinden der Rasterpunkte nutzen (mit Klebestreifen befestigen). Transparentmillimeterpapier eignet sich weniger gut, da das Gittermuster beim Durchsehen erheblich stört. Das Transparentpapier wird nun umgedreht, so daß man auf die spätere Leiterseite blickt. Mit einem Bleistift, der sich gut radieren läßt und nicht schmiert, versucht man nun, die einzelnen Anschlußpunkte gemäß Stromlaufplan unter Beachtung der Regeln in Abschnitt 5.1. kreuzungsfrei zu verbinden. (Bei der zuerst beschriebenen Methode war diese Arbeit ebenfalls – zumindest im ersten Entwurf – vor der Lochrasterplattenkontrolle beendet!) Bei dieser Arbeit wird sich vielleicht herausstellen, daß nicht alle Bauelemente günstig genug liegen. In solchen Fällen muß man dort neu beginnen. Auch erfahrenen Amateuren gelingt – was das Zeichnen betrifft – eine gute Leiterplatte auf dem Papier meist erst im zweiten Anlauf. Damit aber nicht zuviel Aufwand getrieben werden muß, sollte man ggf. auch einmal eine Drahtbrücke auf der Bauelementeseite zulassen, die dann wie ein Bauelement zu behandeln ist, also eigene Lötaugen und Bohrungen erhält. Vom auf diese Weise entstandenen Leiterbild-»Skelett« fertigt man dann das Negativ für das fotomechanische Verfahren an, oder man benutzt es als Körnerlehre zum Anpunkten der Bohrungsmittelpunkte auf der Kupferfolie der Halbzeugplatte. Die nach dieser Schilderung möglichen und miteinander verflochtenen Wege zum Leiterbild (und dem ihm zugeordneten Bestückungsplan) zeigt das Schema nach Bild 10 noch etwas deutlicher.

Der Autor benutzt für Einseitenplatten meist ein etwas modifiziertes Verfahren, das vielleicht auch für manchen entsprechend geübten Leser annehmbar erscheint, und zwar im Entwurfsmaßstab 1:1. Benötigt werden lediglich möglichst »blasses« Millimeterpapier, das sich gut radieren läßt, ein Bleistift für Leiterzüge und Lötpunkte und ein Buntstift (Farbkopierstift) für die Bauelementeumrisse, der sich von der Farbe des Millimeterpapiers gut abhebt und ebenfalls noch brauchbar radieren läßt. Die meist vorgegebenen bzw. von Bauelementezahl und -größe her als möglich eingeschätzten Plattenumrisse werden aufgezeichnet, und mit der »Handvoll« Bauelemente und einer Lochrasterplatte vor Augen beginnt man mit dem Entwurf.

Achtung! Im allgemeinen wird der Amateur mit Blick auf die Leiterseite entwerfen, denn das entspricht der späteren Arbeitsseite bei den mehr oder weniger »direkten« Verfahren. Wird jedoch die Zeichnung des Leiterbilds in irgendeiner Weise für direktes Kopieren auf eine mit Fotolack beschichtete Platte benutzt (undurchsichtige Leiter bei Positivlack, wie PKL 1 u. ä., also gezeichnetes Positiv, durchsichtige Leiter mit undurchsichtigen späteren Freiflächen bei Negativlack, also gezeichnetes Negativ), so zeichnet man besser »seitenverkehrt«, mit Blick »durch die Leiterplatte hindurch«. Auf diese Weise sind die abgedeckten Flächen auch wirklich randscharf, ohne Streulicht. In der Industrie werden heute aus Fertigungsgründen ebenfalls oft seitenverkehrte Darstellungen gewählt.

Bild 11 zeigt, wie das gemeint ist. Man bedenke, daß die Anschlüsse z. B. von integrierten Schaltkreisen ebenfalls »von oben« dargestellt werden, so daß man sich für Entwürfe von der Leiterseite aus am besten vorher die benötigten Anschlußbilder umzeichnen sollte! Aus all dem folgt: Unbedingt alle Entwürfe bezüglich der gewählten Betrachtungsrichtung eindeutig kennzeichnen und die jeweils zutreffenden Bauelementeanschlußbilder benutzen!

Nach dem Markieren »unverrückbarer« Punkte (z. B. zur Befestigung oder durch die geforderte Anordnung größerer Bauelemente bedingter Fläche) wird nun der ebenfalls vorliegende Stromlaufplan »von links nach rechts« in gleicher Richtung auf dem Papier abgearbeitet. Den Anschlußpunkten nach außen (z. B. Eingang, Ausgang, Plus, Minus) ordnet man Stecklötösen zu. Sofern es keine Platzprobleme gibt, werden möglichst auch alle Widerstände und Kondensatoren mit axialen Anschlüssen liegend montiert. Als kleinstes (im Raster bleibendes!) Abbiegemaß kann für Amateurbelange Abbiegen etwa 1 mm vom Bauelementekörper gelten, wenn dadurch keine für das Bauelement unzulässigen Einwirkungen entstehen (mechanisch oder – später, beim Löten – auch thermisch). Ein Widerstand der Baugröße 311 (also größter Durchmesser 3 mm, größte Körperlänge 11 mm) paßt für den Amateur »notfalls« noch ins Rastermaß 12,5 mm; 15 mm sind jedoch zu bevorzugen. Bei den gegenseitigen Abständen dieser oft benutzten Bauelemente ist eine Rastereinheit eigentlich zu knapp, außer, man »zaubert«. Die Baugröße 207 (2 mm Durchmesser, 7 mm Länge) ist da günstiger und läßt außerdem 10 mm Raster zu. Wo aus Beschaffungs- oder Lastgründen der größere Körper eingesetzt werden muß, kann notfalls auf Halbraster ausgewichen werden, also 1,25 mm, d. h. 3,75 mm Abstand für 2 Widerstände 311.

Solche Markierungspunkte exakt zu treffen legt dann allerdings eine vergrößerte Entwurfszeichnung nahe, von der man aber bei einmalig benötigten Platten nichts hat als Mehrarbeit.

Es empfiehlt sich, nicht unnötig aufzudrücken – Änderungen sind in der ersten Phase kaum zu umgehen. Die Mittelpunkte der Lötaugen (die späteren Bohrungen) werden durch kleine Kreise gut sichtbar markiert. Die Leiterzüge sind zunächst einfache Striche. Entsprechend Bild 5 ist aber zu berücksichtigen, wieviel Leiterzüge zwischen 2 Lötaugen je nach deren Abstand realisierbar sind. Stellt man beim ersten Entwurf fest, daß die vorgegebene Fläche doch nicht reicht, so muß die Konzeption geändert werden: Entweder sind liegende Bauelemente zu stellen (beim Amateur meist ohne größere Einschränkungen möglich bzw. zulässig), oder ein größeres Format ist nötig, oder man muß eine zweite Platte vorsehen (z. B. in Stapelbauweise).

Aber auch bei ausreichendem Platz hat das erste Ergebnis meist noch einige »Kanten«. Man scheue sich also ggf. nicht vor Lötbrücken, die farbig eingetragen werden – sinnvollerweise mit einer weiteren Farbe, damit sie sich von den Bauelementekanten besser abheben.

Befriedigt der neue Entwurf, kann man ihn unmittelbar nutzen, wenn nur Einzelplatten benötigt werden. Ein passendes Stück kupferkaschiertes Hartpapier wird dazu z. B. hinter das Millimeterpapier geklebt, und die Bohrpunkte werden als »Markierungs-Skelett« vorsichtig durchgekörnt (vorher üben!). Es hängt dann vom weiteren Verfahren ab, welcher Arbeitsgang folgt. Für Kleinserien (und auch für eine besser haltbare und später lesbare Dokumentation) empfiehlt es sich, nun 2 »Auszüge« herzustellen: einen für die Leiterseite (bei Einzelstücken der Entwurfsseite entsprechend) und einen für die Bauelemente- oder Bestückungsseite. Die Zuordnung beider kann durch 2 unsymmetrisch außerhalb angebrachte Paßkreuze markiert werden. Beide Auszüge können auf Transparentpapier, aber auch weiterhin auf Millimeterpapier – zusammen mit dem Stromlaufplan und eventuellen späteren Notizen zur Baugruppe – gespeichert werden.



## 5.3. Versuchsschaltungen auf Mehrzweckplatten

Im Handel werden aus Industrieposten bisweilen Mehrzweckleiterplatten angeboten, auf denen sich viele verschiedene Schaltungen aufbauen lassen. Sie eignen sich auch gut für Versuche als moderne »Lötösenleisten«. In diesen Fällen ist der Bestückungsplan dem vorgegebenen Muster unterzuordnen. Grundsätzlich versucht man dabei so zu bestücken, daß an den für Änderungen in Frage kommenden Punkten immer noch Löcher und damit Lötaugen in Reserve bleiben. Durchgehende Leitungen eignen sich als Stromzuführung und Masseverbindung.

Die einfachste und vielleicht (zumindest in einer Richtung) auch vielseitigste Platte ist die Streifenleiterplatte. Am freizügigsten, aber auch am arbeitsintensivsten ist die Lötpunktplatte (Bild 12a); denn sie erfordert erhebliche Verdrahtungsarbeit auf der Leiterseite. Die Kupferinseln sind eigentlich nur Punkte zum Festlegen der Bauelemente; auf diesen Lötstellen enden alle sie leiterseitig (!) verbindenden Drahtstücke. Man kann an Stelle je einer Insel mit nur einem Durchbruch z. B. 2er- oder 3ergruppen anordnen, so daß die Verbindungsdrähte eigene Durchbrüche erhalten und auch isolierstoffseitig, zusammen mit den Bauelementen, verlegt werden können. Das ergibt aber eine verhältnismäßig schwer überschaubare Anordnung. Relativ unübersichtlich ist auch die in Bild 12b dargestellte Gittermusterplatte, deren nicht benötigte Brücken herausgekratzt werden müssen. Zwischen Streifenleiter- und Lötpunktmuster liegen die obengenannten Mehrzweckplatten, für die Bild 13 einige mögliche Musterstrukturen wiedergibt. Im Vorgriff auf die Möglichkeiten, die inzwischen das »typofix«-Verfahren gebracht hat, sei für solche Strukturen bereits auf die ursprünglich zu Band 26 und Band 27 der Reihe »Der junge Funker« geschaffenen ätzfesten Mehrzweckbilder hingewiesen. Sie sind besonders für Anfänger interessant.

Die Versuchsschaltung auf einer Mehrzweckplatte kann, nachdem sie erfolgreich erprobt wurde, zum Ableiten des Musters einer Spezialleiterplatte genutzt werden, auf der die Bauelemente so dicht angeordnet sind, wie es die vom gewünschten Gerät her festliegenden Dimensionen verlangen. Auch auf Mehrzweckplatten, wenn sie einer bestimmten Gruppe von Schaltungen angepaßt werden, kann man allerdings mit relativ kleinem Raum auskommen. Für Anfänger wurden z. B. zum »Polytronic-ABC«-Baukasten gemäß Bauplan 41/49 10 Leiterbilder entwickelt, die sich für etwa 40 Schaltungen eignen.

## 5.4. Zweiebenen-Leiterplatten

2seitig kaschiertes Material ist besonders dem fortgeschrittenen Amateur zu empfehlen. Neben seinem Einsatz beim Bau von schirmenden Gehäusen, bei denen sich die beidseits mögliche Lötnaht sehr vorteilhaft auf die Gehäusestabilität auswirkt, gibt es grundsätzlich 3 Varianten, Leiterplatten für 2seitig kaschiertes Material zu entwerfen. Alle 3 lassen sich teilweise miteinander kombinieren. Die naheliegendste Möglichkeit besteht darin, die eine Seite für das Leiterbild und die andere als Schirmfläche zu benutzen, so daß relativ enge Aufbauten hochverstärkender Schaltungen oder von HF-Anwendungen gelingen. Auf der Bestückungsseite sind um die Bohrungen herum ausreichend große Kreise freizuätzen oder anzusenken, damit kein Schluß mit Bauelementen entsteht. Die Bauelemente müssen auch in allen übrigen Teilen gegen die Folie isoliert werden. Darin liegt ein Nachteil gegenüber der selbstisolierenden Bauelementeseite bei einseitig kaschiertem Material.

Bei der zweiten Einsatzvariante benutzt man die Bauelementeseite ebenfalls für das Leiterbild und verfügt auf diese Weise über eine wesentlich größere Vielfalt von Verbindungen einschließlich Kreuzungen, muß sich dafür aber entsprechend länger mit dem Entwurf beschäftigen. Probleme bringen auch das einwandfreie Durchkontaktieren zusammengehöriger Leiter (z. B. über eingelötete und vielleicht noch leicht gestauchte Drahtstückchen, am besten in Löchern von weniger als 1 mm Durchmesser) und die Bauelementeübergänge durch Leiterflächen hindurch. Dort sind wieder Isolierränder um die Löcher herum notwendig.

In der dritten Variante wird sogar beidseitig bestückt. Das sollte man aber nach Möglichkeit vermeiden. Beim Bearbeiten muß stets auf beiden Seiten gleichzeitig geschützt werden; beide Seiten werden bezüglich der Leiterbilder über die Lage der beiden Leiterbildseiten gemeinsamen Bohrungen koordiniert. Weitere Hinweise für 2seitige Leiterplatten wurden z. B. in Bauplan 48 am konkreten Objekt gegeben.

## 6. Wege zur Leiterplatte

Der Amateur benutzt – je nach Schwierigkeitsgrad und Möglichkeiten – zumindest für Einzelstücke heute hauptsächlich das mechanische Abtragen (nur für einfache Leiterbilder sinnvoll) und das Ätzen einer direkt auf die Folie aufgebrachten Deckschicht. Die »Klassiker« benutzen dabei ausschließlich geeignetes Zeichenwerkzeug und einen Abdecklack, während seit etwa 4 Jahren die erhältliche ätzfeste »typofix«-Abreibefolie für Leiterplatten mindestens ein damit kombiniertes Verfahren vorteilhafter erscheinen läßt. In der folgenden Aufstellung wird dem »typofix«-Verfahren entsprechender Platz eingeräumt. In Arbeitsgemeinschaften wird man gegebenenfalls auch das fotomechanische Verfahren, oft aber ohne den Umweg über ein fotografisch hergestelltes Negativ, anwenden. Für das fotomechanische Verfahren sollte man bei Erstanwendung möglichst noch weitere Literatur heranziehen.

Grundsätzlich säubert man – unabhängig vom gewählten Verfahren – die Platte vor dem Bearbeiten. Das läßt sich mit »ATA fein« erreichen, doch muß anschließend noch ein Geschirrspülmittel eingesetzt werden. Die Folie wird dadurch frei von Rückständen; man sollte sie anschließend auf der Folieseite nicht mehr berühren (außer beim rein mechanischen Abtragen). Es kann allerdings vorkommen, daß es sich auf einer derart gründlich gereinigten und mit einem sauberen Lappen getrockneten Platte nicht besonders gut zeichnen läßt – einige Decklacke laufen dabei breit. Für diesen Fall gibt es mindestens 3 Möglichkeiten, die ein Breitlaufen verhindern: Entweder läßt man die Platte nach dem Säubern und Spülen einfach an der Luft trocknen, wodurch sie wieder anläuft, d. h., sie überzieht sich mit einem dünnen, gleichmäßigen Oxidfilm, oder man taucht sie kurz in stärker verdünntes Ätzmittel und spült dann sofort gründlich ab. Dadurch entsteht eine ganz leichte Rauhigkeit, die dem Zeichenprozeß ebenfalls entgegenkommt. Schließlich hat sich auch gleichmäßiges Bearbeiten mit einem Schleifpapier feinster Körnung gut bewährt. Die Oberfläche ähnelt dann gewissermaßen Zeichenkarton.

### 6.1. Mechanisches Abtragen

Die nur 25 bis 35 $\mu$m dicke Kupferfolie läßt sich bereits mit einer Rasierklinge oder mit einem scharfen Messer leicht auftrennen, und auch das Abschälen schmaler Streifen bereitet bei Hartpapierträgermaterial wenig Schwierigkeiten. Einfache Leiterbilder, z. B. Streifenleiterplatten, und die Bemusterung von Gehäusen aus kupferkaschiertem Hartpapier (Batteriekontakte, Stromzuführungen) sind über dieses Verfahren relativ schnell zu gewinnen.

Eine schon etwas anspruchsvollere Variante ist das Fräsen mit Hilfe eines Zahnarztbohrers, das auch kompliziertere Muster erlaubt. Für das Herstellen von Trennfugen durch Abschälen hat sich eine alte Ziehfeder für Tusche gut bewährt. Man schleift sie scharf an und klemmt zum Stabilisieren des eingestellten Abstands dicht hinter die Spitze ein Metallplättchen, das etwa 0,3 bis 0,6 mm dick sein kann. Bei nahezu senkrecht aufgesetzter Feder, deren beide Spitzen gleich lang sein müssen, schneidet man parallel zu einem Lineal bei mäßigem Druck gleichzeitig 2 Trennlinien durch die Folie hindurch und gewinnt sehr schnell einen abschälbaren Foliestreifen (Bild 14). Die kleinste Trennfugenbreite wird nicht vorrangig durch die Möglichkeiten dieser Methode begrenzt, sondern dadurch, daß es schwierig wird, diesen schmalen Streifen dann an seinem Anfang auch wirklich durch die Messerspitze zu erfassen und abzuziehen. Über 2 im Abstand der gewünschten Leiterbreite erzeugte Trennliniendoppelschnitte gewinnt man einen Streifenleiter. Auf diese Weise lassen sich in wenigen Minuten Streifenleiterplatten herstellen, deren Leiter ohne weiteres im entsprechenden Rastersprung parallel zueinander verlaufen können. Die erforderlichen Bohrungen für die gewünschte Schaltung werden anschließend angebracht. Dazu körnt man vorsichtig durch ein aufgelegtes Transparentmillimeterpapierblatt hindurch die betreffenden Rasterpunkte an. Sauberes Bohren gelingt am besten mit einer elektrischen Tischbohrmaschine, die sich noch für 1-mm- oder 1,3-mm-Bohrer eignet. Bei Handbohrmaschinen führt man die Platte gegen die waagerecht in einem Schraubstock eingespannte Maschine. Der Bohrer soll möglichst kurz eingespannt werden, damit er nicht bricht. Die kleine elektrische Bohrmaschine von PIKO ist für Leiterplatten durchaus kein Spielzeug, wenn auch für ihre Größe etwas laut.

Für Querteilungen im Streifenleiter wird die Ziehfeder mit ihren Schneidkanten etwas schräg zur Schnittrichtung gehalten. Auf diese Weise schält man den Streifen sofort mit heraus. Zum Herausschälen längerer Trennfugen nach dem Ritzen wird jedoch das Messer verwendet, da die Schneide der Ziehfeder sonst unnötig hoch beansprucht wird. Für einen solchen Einsatzfall müßte man sie breiter anschleifen als für das ausschließliche Ritzen, das dadurch aber wieder größere Kraftanstrengungen erfordern würde.



Es empfiehlt sich übrigens, nicht unnötig schmale Partien herauszuschälen, da sich sonst beim Löten leicht unerwünschte Zinnbrücken bilden. Außerdem neigen diese schmalen Rillen zum Verschmutzen, so daß sich der Isolationswiderstand zwischen den Leitern merklich verringern kann.

### 6.2. Zeichnen einer ätzfesten Deckschicht

Eine nur vom zeichnerischen Geschick und von den verwendeten Mitteln abhängige Leitungsdichte erreicht man mit geeigneten Decklacken und einer handelsüblichen Röhrchenfeder von 0,6 bis 1 mm Öffnung (Bild 15) bzw. mit einem Skribent-Tuschefüller (Bild 16). Diese Schicht wird in Form des gewünschten Leiterbilds aufgetragen; die freibleibenden Kupferpartien löst man anschließend in einem Ätzbad heraus. Für das gesamte Verfahren bietet der Amateurhandel den bewährten »Amateur-Ätzsatz« (vgl. Bild 17) an. Der Satz enthält ätzfesten Abdecklack, der auch zum Schützen der fertigen Platte geeignet ist, und ein Ätzmittel in Form eines weißen Salzes (Ammonium-Persulfat). Infolge der tuscheähnlichen Konsistenz des Lacks läßt er sich gut mit Zieh- und Redisfedern verarbeiten. Für das Ätzbad wird etwa 1 Eßlöffel (den man nicht wieder für Speisen verwenden darf) Ammonium-Persulfat in 150 $cm^3$ Wasser gelöst. Das Ätzbad sollte man möglichst auf 40 °C halten. Die höhere Temperatur beschleunigt den Ätzvorgang, der sonst immerhin 1 bis 2 Stunden betragen kann. Ein Bewegen der Leiterplatte im Ätzbad verkürzt die Ätzzeit kaum. Die anfangs wasserklare Lösung färbt sich mit zunehmendem Kupferanteil immer stärker blau. Verbrauchte Lösung muß zusammen mit viel Wasser in den Ausguß geschüttet werden. Außerdem ist gründlich nachzuspülen. Das Ätzmittel muß sowohl von Nahrungsmitteln als auch von Kleidungsstücken unbedingt ferngehalten werden. »Profis« ätzen lieber mit Eisen(III)-Chlorid ($FeCl_3$). Damit läßt sich wesentlich schneller ätzen, und man kann es mit einem über die Platte geführten Wattebausch, durch Bewegen und durch Luftzufuhr noch beschleunigen. Allerdings ist beim Umgang mit dieser Substanz, die es in kristalliner Form, aber auch als Lösung gibt, sehr große Vorsicht geboten. Besonders die »trockene« Variante löst sich unter großer Wärmeentwicklung in Wasser, so daß man wärmefeste, stabile, nichtmetallische Gefäße braucht; sie greift die Atemwege an und verursacht auf Kleidungsstücken und anderen Gegenständen gelbbraune, fast nie wieder zu entfernende Flecke. Nur sehr erfahrene Amateure sollten daher mit $FeCl_3$ arbeiten und nur dann, wenn sie alle notwendigen Sicherheitsvorkehrungen getroffen haben. Inzwischen ist die industrielle Anwendung solcher Substanzen nur noch in geschlossenen, die Umwelt nicht belastenden Kreisläufen gestattet. Der Amateur erhält daher Eisen(III)-Chlorid im Handel nicht mehr. Von gelegentlich nachlesbaren Patentrezepten mit noch aggressiveren Substanzen ist ohnehin dringend abzuraten, auch ohne die verständlicherweise strengen Regeln der seit einiger Zeit geltenden neuen Giftgesetze.

Neben dem im Zeichen- und Ätzsatz enthaltenen Decklack kommen noch Nitrolack, Nagellack oder (sehr brauchbar!) einer der mit etwas in Spiritus gelöster Kopierstiftmine angefärbten, unsensibilisierten Kopierlacke in Frage, wie sie für das fotomechanische Verfahren gebraucht werden (*Potsdamer* Kopierlack, *Klöco*-Lack, *Röco*-Lack). Sie lassen sich ebenfalls ausgezeichnet mit Röhrchenfedern oder im Skribent-Tuschefüller verarbeiten.

Wann soll man nun beim direkten Verfahren Bohren? Man kann die Leiterplatte entweder noch vor dem Aufbringen des Leiterbilds (die Lötaugen werden dann um die Bohrungen herum gezeichnet, also immer konzentrisch) oder erst nach dem Ätzen bohren. Auf jeden Fall empfiehlt es sich jedoch, die Körnerpunkte noch vor dem Zeichnen durch das gezeichnete Leiterbild hindurch auf die Kupferfolie zu übertragen, so daß sie die Leiterzüge markieren. Das geht am besten so vor sich: Die kupferkaschierte Hartpapierplatte, die bereits die endgültigen Abmessungen hat, wird mit der Folieseite von hinten auf das Papier gelegt, auf dem sich die Leiterbildzeichnung befindet. Dabei achte man auf exakte Lage zu den Kanten. Nun sichert man die Platte mit Klebestreifen, dreht um und sticht mit einer Reißnadel u. ä. alle Lötaugenmittelpunkte durch. Auf diese Stellen wird nach Entfernen der Zeichnung der Körner aufgesetzt. Bei etwas Übung läßt sich ein Arbeitsgang einsparen: Man körnt dann gleich durch das Papier hindurch an. Den richtigen Schlag ermittelt man vorher mit einem geeigneten Hammer an einem Abfallstück. Ein zu starker Schlag führt unter Umständen zum Splittern der Platte, während bei zu geringem Ankörnen der Bohrer verläuft.

Eine »gewaltlose« Körnermethode bietet ein spezieller Stielfeilkloben, in den man einen 1-mm-Bohrer einspannt. Er läßt sich wie ein Drillbohrer drehen, so daß auf der mit Reißnadel markierten Stelle bereits nach etwa 3 Umdrehungen eine Senke entsteht, die den Bohrer sicher führt.

## 6.3. typofix: perfekte Leiterplatten durch Haftdruckfolie

Seit den erfolgreichen Versuchen von *U. Thews* zum unmittelbaren Einsatz von »typofix«-Abreibefolie für das Herstellen von Leiterplatten entstand eine Reihe von »typofix-electronic-universal«-Blättern mit geraden und gewinkelten Leiterzügen, mit Lötaugen und Lötaugengruppen für die verschiedensten Bauelemente. Parallel dazu wurden seit Bauplan 37 systematisch alle interessierenden Leiterbilder der Baupläne »auf Folie genommen«. Sie bilden die Reihe der »typofix-electronic-special«-Blätter. Überlappungen entstanden im Zuge der Entwicklung neuer Leiterplatten kleiner (bauplantypischer) Formate. Die relativ langen Leiterbahnen der Universalfolie lassen sich nicht besonders gut in kleine Stücke teilen, und außer runden Lötaugen boten sich z. B. für Schaltkreise solche größerer Lötfläche in ovaler Struktur an. Diesen Wünschen kommen Gruppen von kurzen Leiterzügen und speziellen Lötaugen entgegen. Anfängerspezifische Anordnungen entstanden außerdem für die Hefte 26 und 27 der Reihe »Der junge Funker«. Die Lötaugen verschiedener Durchmesser, die IS-Anschlußgruppen und die kurzen Leiterzuganordnungen auf dem »typofix«-Blatt zu Bauplan 37 eignen sich gut für kombinierte Eigenschöpfungen (Kombinationen von gezeichneten Details und mit Decklack gefüllten Flächen mit rastergenau aufgebrachten »typofix«-Lötaugen sowie kurzen Verbindungsstücken) – vgl. Bild 18. Auf dem »typofix«-Blatt zu Bauplan 46 befinden sich größere IS-Gruppen, die z. B. auch den genauen Einsatz von 24-, 28- oder 40poligen Schaltkreisen gestatten. Die großflächigen Lötaugen im 2,5-mm-Abstand sind günstige Anschlußelemente auch außerhalb solcher Einsatzfälle (siehe ebenfalls Bild 18). Schließlich enthält das genannte Blatt aber noch eine Reihe kurzer Leiterzugstücken, mit denen man die oft benötigten Verbindungen zwischen 2 Lötaugen im einfachen und im doppelten Rastersprung sowie in diagonalen Anordnungen ohne Kürzen herstellen kann. Diese Elemente haben sich inzwischen ausgezeichnet bewährt.

Eine Leiterplatte aus solchen Elementen entsteht beim Autor meist so (vgl. auch Abschnitt 6.4.!): Auf der gesäuberten Kupferfolie werden einige »Ausgangspunkte« des Leiterbilds markiert, z. B. durch leichtes Ankörnen. (Man kann auch alle Punkte ankörnen, aber z. B. bei IS-Gruppen ist die Folie meist genauer, als es das Übertragen mit dem Körner zuläßt.)

Alle auf diese Weise bereits eindeutig übertragbaren Lötaugengruppen werden nun auf die Kupferfolie gebracht. Von ihnen aus – den Blick dafür gewinnt man bald – lassen sich weitere Punkte des Entwurfs leicht durch den aus der größeren Gesamtfolie herausgeschnittenen Lötaugengruppenteil rastergenau anvisieren und übernehmen. Danach werden – ggf. nach vorherigem Markieren mit einem weichen Bleistift o. ä. – die Zwischenverbindungen angebracht. Da sich »typofix«-Streifen überlappen dürfen, können längere Leiter aus kürzeren zusammengesetzt werden. Größere Flächen rahmt man nur ein. Dazu eignen sich auch die auf jedem »typofix«-Blatt enthaltenen Randlinien. Diese Flächen füllt man anschließend mit Decklack, z. B. mit einer Redisfeder. Auch Schrift kann mit Lack (oder natürlich auch von speziellen »typofix«-Blättern) aufgebracht werden. Ein Beispiel zu diesen Abläufen zeigt Bild 19.

Kommen diese Teile von »typofix« also dem Wunsch nach eigener Gestaltung entgegen, so hat doch die Mehrzahl der Bauplanleser sicherlich den größeren Nutzen durch die vollständig abreibbaren Leiterbilder der Bauplanobjekte. Auch das setzt natürlich Übung voraus. Einige Details dazu, sowohl für »universal« wie für »special« gültig, enthält der nächste Abschnitt. Bei kompletten Leiterbildern ist die beim Abreiben nicht vermeidbare Wölbung der Folie zu berücksichtigen. Ungünstiges Handhaben kann zum Reißen einzelner Leiter führen, was sich aber anschließend mit einem kurzen Einzelleiterstückchen leicht reparieren läßt. Man sollte zuerst die kleineren Partien übertragen. An diesem »Skelett« kann man sich dann auch beim Übernehmen der größeren Leiterbahnen besser orientieren. Eines muß jedoch für jedes »typofix«-Blatt eindeutig festgestellt werden: Saubere Leiterbilder sind nur möglich, wenn man die Folie sachgemäß behandelt und lagert. Man beachte daher die Lagerhinweise am Rande jeder Folie!

## 6.4. Ammoniumpersulfat und typofix

Entscheidend für das erfolgreiche Umsetzen eines Leiterbilds auf »typofix«-Folie in einer Leiterplatte ist der dem Ätzen vorausgehende Arbeitsprozeß. Beim Ätzen selbst sind allerdings einige Randbedingungen zu beachten, die teils auch schon auf Eisen(III)-chlorid zutrafen, teils erst für Ammoniumpersulfat spezifisch sind. Bei beiden Verfahren kann man den Ätzprozeß durch erhöhte Badtemperatur beschleunigen. Während beim Eisen(III)-chlorid 40 °C empfohlen werden, verkürzt sich die Zeit bei



Ammoniumpersulfat zwischen 60 und 80 °C entscheidend. Doch auch mit 40 bis 50 °C werden brauchbare Zeiten (bei frischer Lösung 30 min als Erfahrungswert) erzielt. 50 °C sind auf Grund entsprechender Versuche auch als oberster Grenzwert für das Verarbeiten von Haftdruckfolie-Leiterbildern zu betrachten. Deshalb bevorzugten einige Anwender das Eisen(III)-chlorid.

Kritischer verhält sich Ammoniumpersulfat bezüglich ablösender Kräfte auf Deckschichten beliebiger Art. Mit zunehmender Temperatur (und hauptsächlich bei neuangesetzter Lösung) treten Sauerstoffblasen auf, die auf die Deckschicht mechanisch einwirken. Damit die Deckschicht während des Ätzprozesses gut hält, sollte man deshalb besonders darauf achten, daß die Kanten der abgeriebenen Leiterzüge gut haften. Diese Haftung wird jedoch durch die dem Ätzvorgang vorangestellten Arbeitsgänge bestimmt. Schließlich hängt die notwendige Ätzdauer auch stark von der Beschaffenheit der unbedeckten Kupferpartien ab. Daher ist ein sauberes Übertragen der Haftdruckfolie auf die Kupferfläche ohne Abdrücken von Wachs neben dem Vermeiden von Fettspuren eine entscheidende Voraussetzung für die Qualität der Leiterplatte. Wo sich solche Abdrücke nicht vermeiden ließen (was bei dem notwendigerweise stückweisen Verarbeiten von »typofix-electronic-universal« häufiger der Fall sein wird als bei den kompletten Leiterbildern von »typofix-electronic-special«), ist ein sachgemäßes Entfernen dieser Fremdschicht vor dem Ätzen als wesentlicher Arbeitsgang vorzusehen. Dabei hat sich das früher oft empfohlene Waschbenzin mit Wattebausch aus 2 Gründen als relativ problematisch erwiesen: Zum einen wird das Wachs u. U. mehr verteilt als entfernt, zum anderen sind vor allem schmale Leiterzüge stärker gefährdet. Auch Spiritus ist weniger zu empfehlen. Selbst konzentrierte Spülmittellösung sollte nicht verwendet werden. In einer Verdünnung von etwa 1 : 1000 (Spülmittel : Wasser) in saugfähigem weichem Papier (z. B. Papiertaschentuch) eignet es sich jedoch zum Entfernen von Fett- und Wachsspuren gut.

Zusammengefaßt empfiehlt sich als einer von mehreren möglichen Wegen beim Verarbeiten von Leiterbildern aus Haftdruckfolie dieser Ablauf:

- mechanisches Säubern und dabei leichtes (!) Aufrauhen der Kupferschicht mit Schleifpapier feinster Körnung; Scheuerputzmittel führen dagegen zu schlecht zu entfernenden, wasserabweisenden Schichten; bei ihrer Verwendung daher besonders gut entfetten, z. B. mit Bürste!
- Entfernen mit Spülmittel oder (und) kurzes Baden in Silberputzmittel (z. B. »Blanka blink«)
- Trocknen mit sauberem, saugfähigem Tuch
- Aufbringen der Leiterzüge konsequent nur durch Nachziehen der schwarzen Flächen mit Kugelschreiber oder weichem, verrundetem Bleistift
- leichtes Andrücken durch die Trägerfolie hindurch auf die Schicht
- vorsichtiges, langsames Abheben der Trägerfolie, ggf. hängengebliebene Partien nachreiben
- Andrücken des Leiterbilds mit der sauberen Fingerkuppe
- festes Andrücken (»Kantenstabilisierung«) des Leiterbilds mit einem Gummirollenquetscher (Fotobedarf), mehrmals kreuz und quer über die Platte geführt
- mechanisches Abreiben von Fremdschichten mit weichem, aber festem Papier, in Spülmittellösung angefeuchtet – Haftfestigkeit der Deckschicht berücksichtigen!
- Ätzen in Ammoniumpersulfat, 50 g in 250 cm$^3$ Wasser von maximal 50 °C gelöst; bei Thermometerkontrolle z. B. unter einer Tischlampe zur weiteren Einhaltung dieser Temperatur
- Spülen, Kontrolle (ggf. mit Stichel oder Messer Kupferreste entfernen), Abschaben der Deckschicht, z. B. mit Kante eines Halbzeugstücks
- Oberfläche etwa in »Blanka blink« säubern, spülen, mit Tuch trocknen und mit Schutzlack aus dem Ätzsatz dünn überziehen.

## 6.5. Fotomechanisches Verfahren

Für Einzelstücke, wie sie die meisten Amateure brauchen, ist dieses Verfahren zu aufwendig. Liegt allerdings ein kopierfähiges Leiterbild im Maßstab 1 : 1 vor, z. B. aus der Literatur, so ist es gerade das sinnvollste Verfahren, wenn man seine Arbeitsgänge beherrscht und im Besitz der entsprechenden Chemikalien und Einrichtungen ist. »Profis« und Arbeitsgemeinschaften stehen dabei meist auf einer Stufe. Die Beschreibung dieses Verfahrens übersteigt den Rahmen dieses Bauplans. Bei Bedarf lese man in dem in Abschnitt 9. genannten Buch nach!

## 6.6. Nachbehandeln der Leiterplatte

Gleichgültig, nach welchem Verfahren die Leiterplatte entstanden ist, wird sie mit »ATA fein«, viel Wasser und Geschirrspülmittel gesäubert. Manche Deckschichten lassen sich mit Lösungsmitteln entfernen, aber auch in diesen Fällen sollte man anschließend noch scheuern. Nach dem Spülen reibt man die Folie mit einem sauberen Tuch trocken und bringt sofort lötfähigen Schutzlack auf. Falls dazu nicht der handelsübliche Schutzlack benutzt wird, verwendet man eine möglichst gefilterte Lösung von Kolophonium in Spiritus, die man mit einem Pinsel dünn und gleichmäßig aufträgt. (Keine Löttinktur verwenden, da sie vielleicht doch nicht völlig frei von aggressiven Bestandteilen ist!) Gute Erfahrungen wurden auch mit Haarspray gemacht; diese Methode ist sehr bequem (einfach aufsprühen, trocknet in wenigen Sekunden). Der Lack behindert nicht das spätere Löten, und die Folie darunter bleibt blank. Das aber ist ja der Hauptzweck des Schutzes, denn das eigentliche Flußmittel wird erst beim Bestücken – Lötstelle für Lötstelle – zugesetzt. Bei Kolophoniumüberzug muß man übrigens im Fall einer mechanischen Bearbeitung der fertigen Platte (Konturschneiden nach dem fotomechanischen Verfahren, bei dem die Platte erst nach dem Ätzen die eigentlichen Maße erhält) darauf achten, daß sich die Sägespäne nicht in die Schicht eindrücken, weil dadurch das Löten behindert wird.

# 7. Von der Leiterplatte zur »gedruckten Schaltung«

Nach der klassischen Definition entsteht aus einer Leiterplatte die (elektrisch funktionsfähige) »gedruckte Schaltung«, wenn man sie mit allen Bauelementen bestückt hat. Diese Arbeitsgänge sind im folgenden Abschnitt beschrieben.

## 7.1. Bestücken und Löten

Lage und Anordnung der Bauelemente wurden bereits gemäß Abschnitt 5. festgelegt. Es gilt nun, sie alle auf der Leiterplatte unterzubringen. Da der Amateur kaum tauchlöten wird und auch andere rationelle Industrieverfahren nicht benötigt, kommt er mit der sicheren Methode der Einzelbestückung aus. Für diesen Fall ist folgende Reihenfolge möglich:

– Einsetzen aller Bauelemente, die einen bestimmten mechanischen Aufwand erfordern, wie das Einpressen von Lötösen mit einer stabilen Zange bei bruchsicherem Auflegen der Leiterplatte rings um das betreffende Loch (z. B. auf die etwas geöffneten Schraubstockbacken).
– Einsetzen der Bauelemente, deren Lage durch starre oder halbstarre Anschlüsse zwangsläufig vorgegeben ist. Als starr rechnen z. B. Trimmpotentiometer, Relais u. ä., halbstarr sind Elektrolytkondensatoren nach *TGL 200-8308* und *TGL 35807*, da man sie notfalls auch einmal etwas schief einbauen kann.
– Einsetzen der Bauelemente, deren Lage infolge ihrer biegsamen Anschlüsse den restlichen verfügbaren Flächen angepaßt werden kann. Das trifft vor allem auf stehend montierte Widerstände und (begrenzt) auf Kondensatoren zu. Die heruntergeführten Drahtanschlüsse sollte man mit Isolierschlauch überziehen. Besonders bei Widerständen empfiehlt sich auch zwischen Körper und unten liegendem Anschluß zur Leiterplatte hin ein bestimmter Abstand, realisiert durch wärmefesten Gewebeschlauch (siehe Bild 6).

Jedes Bauelement wird sofort eingelötet. Im allgemeinen sind Bauelementeanschlüsse einwandfrei verzinnt und damit bei sachgemäßer Lagerung (am besten in geschlossenen Behältern) auch leicht zu löten. Dennoch sollte man jeden Anschluß vor dem Einsetzen des Bauelements überprüfen, und zwar an der Stelle, die später zur Lötstelle gehört.

Die Lötzeit kann um so kürzer werden, je besser der Anschluß vorbereitet worden ist. Für den Amateur bedeutet das, am besten alle Bauelementeanschlüsse, auch dann, wenn sie schon verzinnt waren, kurz vor dem Einbau nochmals neu zu verzinnen. Oxid- oder Lackreste werden vorher mit Schmirgelleinen, einem Glasfaserpinsel oder mit dem Taschenmesser entfernt. Dann erhält der Anschluß einen Tropfen säurefreie Löttinktur, wie sie z. B. als *Löttinktur Nr. 23* in kleinen Flaschen im Amateurbedarfshandel angeboten wird. Diese Stelle verzinnt man dann schnell und sauber mit dem Lötkolben, dessen Spitze nach Eintauchen in Flußmittel etwas frisches Zinn aufgenommen hat. Für sauberes Löten



sind folgende Bedingungen zu erfüllen: zunderfreie, ausreichend, aber nicht tropfend verzinnte Lötkolbenspitze, deren Zinn mit Flußmittel oxidfrei gehalten wird; Flußmittel auch auf dem zu verzinnenden Anschluß aufbringen. Die Lötkolbenspitze sollte, sooft das nötig ist, gesäubert werden, z. B. durch Abstreifen der verbrannten Flußmittelrückstände an einem Leinenlappen. Zunder beseitigt man im kalten Zustand mit Drahtbürste oder Feile, falls es sich um eine vergütete, zundersichere Spitze handelt. Einige Worte zum Lötkolben selbst: Geeignet sind für Leiterplatten Lötkolben zwischen etwa 20 W und 40 W für 220 V und in 10-W- und 20-W-Ausführung, die als Niederspannungslötkolben für 6 V, 12 V und 24 V angeboten werden. Eine gewisse Anpassung an die Forderung nach optimaler Löttemperatur (für kurze Lötzeit und damit erträgliche Beanspruchung des Klebers, der die Folie auf der Platte hält) läßt sich bei vielen Lötkolbentypen dadurch erreichen, indem man die Einstecktiefe der Spitze im Heizsystem verringert. Des weiteren kann man in den Lötpausen mit Halbwellenspeisung über eine Siliziumdiode arbeiten. Diese Maßnahme darf jedoch nur der im Umgang mit Netzspannung ausgebildete Amateur anwenden. Ungefährlich, aber auch aufwendiger ist ein Stelltransformator. Die Niederspannungslötkolben lassen sich dagegen durch Anzapfungen an der Niederspannungsseite des Speisetransformators leichter auf die günstige Temperatur bringen. Selbstverständlich kann man auch einen Thyristorsteller benutzen. Der Lötkolben muß folgende Bedingungen erfüllen: Der bereits sauber verzinnte Draht (etwa 0,8 mm Durchmesser) muß sich mit dem Lötauge (bis etwa 3 mm Durchmesser) innerhalb einer Sekunde zu einer einwandfreien Lötstelle vereinigen lassen, bei der während des Lötvorgangs das Zinn eindeutig den Draht umfließt. Teigige Konsistenz bedeutet zu »schwachen« Lötkolben, zu weit herausgezogene Spitze oder zu niedrige Betriebsspannung. Eine zu hohe Temperatur zeigt sich bereits am Lötkolben dadurch, daß sich das Zinn auf seiner Spitze in kürzester Zeit (in einigen Sekunden) mit einer grauen Haut überzieht bzw. daß beim Löten das Flußmittel verbrennt, statt die Oberflächenspannung des Zinns zu verringern und Oxidhäute zu beseitigen. Bild 20 gibt einige Empfehlungen für Lötkolbenspitzen. Bekanntlich geht aber bei jedem Lötvorgang auch etwas Kupfer mit in die Lötstelle ein, so daß sich die Spitze langsam abnutzt. So hat zwar die Gabelform den Vorzug, daß man in einem Ansatz den Draht rings um das Lötauge und den Anschluß mit Zinn versorgt, doch wird man sie dafür oft nacharbeiten müssen. Die Pyramidenspitze (oder auch der abgeflachte Kegel) erlaubt ein Umfahren des aus dem Lötauge herausragenden Anschlusses, und die Lötzeit wird nur unwesentlich größer. Als bester Kompromiß für einen Mehrzwecklötkolben bleibt jedenfalls die letzte im Bild dargestellte Form. Mit ihr lötet man entweder kurz hintereinander von 2 Seiten, oder man benutzt die Fläche in folgender Weise: Zunächst erhält die künftige Lötstelle samt Bauelementeanschluß wieder einen Tropfen Flußmittel. Dann zieht man aber den Anschluß unter die Folie in das Loch zurück. Die Lötkolbenspitze verzinnt dadurch zunächst flächenhaft das gesamte Lötauge. Unmittelbar danach wird der Anschluß wieder durch das Loch geschoben und dadurch ebenfalls vom noch flüssigen Zinn erfaßt. In dem Maße, in dem der Bauelementeanschluß wieder auftaucht, hebt man den Lötkolben ab. Für den Amateur empfiehlt es sich nicht, Anschlüsse des besseren Haltes wegen auf der Leiterplatte umzubiegen. Er hat dann beim eventuell nötigen Auswechseln große Schwierigkeiten. Deshalb drückt man das Bauelement in seine stabile Lage auf die Platte, so daß es später die Folie der Lötstelle nicht von der Plattenoberfläche weg mechanisch belasten kann, denn dadurch reißt sie vielleicht ab. Das gilt besonders für schwere oder durch Bedienvorgänge mechanisch belastete Bauelemente. Nach dem Einsetzen schneidet man auch bei ihnen den Anschluß etwa 1 mm über der Folieseite ab. Anschließend wird in der bereits beschriebenen Weise ein Tropfen Flußmittel zugegeben und mit gerade ausreichend frisch verzinntem Lötkolben gelötet.

Leiterplatten mit relativ »flacher« Gesamtbestückung (also z. B. mit Schaltkreisen und vorwiegend liegend angeordneten Bauelementen mit axialen Anschlüssen) können auf folgende Weise rationeller bestückt werden: Nachdem die Leiterplatte fertig ist, beginnt man am besten mit dem Einsetzen der Drahtbrücken; es folgen die Widerstände, dann die Schaltkreise und die Potentiometer, zum Schluß die übrigen Bauelemente. Das erleichtert die Lötarbeiten. Nach Durchstecken der Drahtbrücken z. B. können diese bauelementeseitig gut durch ein Stück Schaumgummi o. ä. angedrückt werden. Auf den Tisch gelegt, lassen sich die Enden dann leiterseitig mit dem Seitenschneider kürzen, ohne daß die Brücken bis zum Löten wieder herausrutschen. Die zweite »Andruckebene« wird von den (liegenden) Widerständen gebildet (Größe 2 × 7 oder 3 × 11). Die Schaltkreise stellen die nächste Etage dar. Auf diese Weise ist die Leiterplatte schnell bestückt. Stecklötösen nicht vergessen!

## 7.2. Schützen und Prüfen

Damit die fertige Schaltung sauber wirkt, kann man sie leiterseitig mit Spiritus abwaschen. Dabei soll möglichst keine Lösung auf die Bauelementeseite gelangen, denn diese Flecken stören den Gesamteindruck. Anschließend wird die Leiterseite mit frischem Schutzlack, einer Kolophonium-Spiritus-Lösung oder Haarlack analog Abschnitt 6.6. überzogen. Die fertige Einheit muß nun noch einigen Tests unterzogen werden, bevor man sie mit der vollen Betriebsspannung »fährt«.

An dieser Stelle sei noch die Empfehlung nachgetragen, schon die Leiterplatte mit einer Lampe zu durchleuchten, so daß sich noch vor dem Bestücken Brücken oder Unterbrechungen erkennen lassen. Mit Fehlstellen muß beim Ätzprozeß infolge fehlerhafter Deckschicht immer gerechnet werden!

Es ist nicht möglich, für den Funktionstest einer gedruckten Schaltung sehr spezielle Hinweise zu geben, denn das hängt stark von der Art der Schaltung ab. Auf jeden Fall wird man so vorgehen, daß der Test zeigt, ob Gefahrenstellen durch falsch eingebaute Bauelemente oder durch Zinnbrücken bestehen.

## 7.3. Reparaturen an Leiterplatten

Der Grundsatz für Reparaturen an Leiterplatten lautet: Jede mechanische Beanspruchung, die von der Platte weg weist, ist von der Folie fernzuhalten. Diese Forderung läßt sich vor allem bei umgebogenen Anschlüssen schwer erfüllen. Bei umgebogenen Drähten (überhaupt bei jeder Lötstelle, die geöffnet werden soll) versucht man zunächst, so schnell wie möglich viel Zinn zu entfernen. Dazu verwendet man Flußmittel auf der Lötstelle. Auch die Lötkolbenspitze wird vorher in Flußmittel getaucht und abgestreift oder abgeschüttelt, so daß sie nur noch ganz dünn verzinnt bleibt, aber oxidfrei ist. Man hält dann die Platte mit der Leiterseite nach unten und zieht dadurch das Zinn von der Lötstelle. Das Flußmittel reduziert dabei die Oberflächenspannung. In schwierigen Fällen und vor allem beim Auslöten integrierter Schaltkreise bedient man sich eines kurzen Stückes Kupfergeflecht von einem Schirmkabel. Es wird mit Flußmittel benetzt und auf die Lötstellen gedrückt. Vom Kolben erwärmt, saugen die Gewebeporen das Zinn sogar aus den Bohrungen, in denen es den Anschluß fest umschlossen hatte. Der Einbau eines neuen Bauelements in die verzinnten Lötaugen bereitet nur dann Schwierigkeiten, wenn sich in den Bohrungen noch Zinn befindet. In diesen Fällen benutzt man einen Eisendraht von etwa 0,8 mm Durchmesser, der mit dem Lötkolben erwärmt wird und den man von der Bauelementeseite vorsichtig durch das Loch schiebt. (Eisen nimmt Zinn schlechter an als Kupfer, läßt sich also besser wieder herausziehen.)

2seitig kaschierte und industriell durchkontaktierte Leiterplatten widerstehen all diesen Methoden (leider) nur allzu gut. Hier hilft nur Spezialwerkzeug oder ein kleines, randvolles Tauchlötbad.

# 8. Leiterplatten in der Amateurpraxis

Auf Grund der aus dem bisherigen Text gewonnenen Erkenntnisse bieten sich dem Anfänger mindestens 3 Möglichkeiten, schnell von seiner Schaltung zu einer Leiterplatte zu gelangen: über eine Universalleiterplatte, durch mechanisches Abtragen oder – gleichberechtigt bzw. auch kombiniert – durch ätzfeste »typofix«-Folie oder durch eine gezeichnete Deckschicht, deren Zwischenräume ausgeätzt werden.

Je nach »Erkenntnisstand« übernimmt der Amateur die Schaltung für sein Gerät aus der Literatur, oder er entwickelt sie selbst. Oft findet man in Veröffentlichungen auch bereits fertige Leiterbilder. Sie sind nach dem vom jeweiligen Autor benutzten Herstellungsverfahren ausgelegt, z. B. für die fotomechanische Übertragung. Außerdem entsprechen sie in ihrer Anordnung den gerade vorhandenen Bauelementen und speziellen Anwendungsgesichtspunkten. Daraus folgt, daß man auch ein solches Leiterbild nicht unbedingt vollständig übernehmen kann. Liegt es vor, so erspart es aber auf jeden Fall einen großen Teil Denkarbeit bezüglich Anordnung und Leitungsführung. Es lohnt also, solche Muster kritisch zu prüfen und eventuell anzuwenden, auch dann, wenn sie bereits vor Jahren veröffentlicht wurden und sich heute mit teilweise anderen Bauelementen oder Schaltungsdetails realisieren lassen. Inzwischen sind zu den seit Nr. 37 erschienenen Bauplänen zahlreiche komplett übertrag- und ätzbare Leiterbilder auf »typofix-electronic-special«-Folie erschienen, so daß man vor einem eigenen Entwurf stets erst prüfen sollte, was sich davon übernehmen läßt.



## 8.1. Weg 1 – Universalleiterplatte (vgl. Abschnitt 5.3.): IS-Versuchsplatte

Die Möglichkeiten von Universalleiterplatten wurden bereits in den vorangegangenen Abschnitten erläutert. Es möge daher genügen, auf einen jetzt häufig auftretenden Fall hinzuweisen: Einsatz eines integrierten Schaltkreises mit einigen externen passiven Bauelementen und Transistoren. Die Kombination von 2 Teilstücken der zu den Heften 26 und 27 der Reihe »Der junge Funker« erschienenen »typofix«-Folie (Bild 21) ergibt dafür eine vielseitig einsetzbare Leiterplatte.

## 8.2. Weg 2 – Mechanisches Abtragen (vgl. Abschnitt 6.1.): Zeitschalter

Mechanisch erzeugte Trennlinienmuster stellen infolge ihres notwendigen »geradlinigen« Verlaufs um so höhere Anforderungen an ihre Herstellung, je mehr Lötstellen auf einer gegebenen Fläche unterzubringen sind. Gegenüber (industriell angebotenen) Streifenleiterplatten gestatten sie allerdings größere Freizügigkeit im Leitungsverlauf. Trennlinien können längs, quer und auch schräg angebracht werden. Für mechanisches Herstellen vorgesehene Leiterbilder muß man mit Rücksicht auf die zu erwartenden Unvollkommenheiten (Treffsicherheit beim Ritzen, Flächenbedarf der Trennlinien, damit die Foliestreifen überhaupt noch, ohne ständig zu reißen, abgezogen werden können, Lötbrückengefahr) entwerfen. Zwischen 2 voneinander zu trennenden Lötpunkten sollten daher wenigstens 5 mm Abstand sein (von Punktmitte zu Punktmitte gemessen). Das bedeutet u. a., daß sich Plastdioden mit kurzen Anschlüssen im 2,5-mm-Raster ebensowenig für Ritztechnik eignen wie erst recht integrierte Schaltkreise in üblicher DIL-Bauweise (also dual in line, 2 Anschlußreihen mit Lötpunkten im einfachen Rastersprung). Dioden mit längeren Anschlüssen können dagegen wie Plasttransistoren behandelt werden (vgl. Tabelle 2). Sie sind aber – unter Beachtung der zulässigen mechanischen Beanspruchung – wieder so weit gespreizt einzusetzen, daß die 5-mm-Bedingung erfüllt wird. Ähnlich verfährt man z. B. mit normalerweise im einfachen Rastersprung montierbaren stehenden Elektrolytkondensatoren neuerer Produktion u. ä. Einen Beweis für die dennoch gegebene Leistungsfähigkeit dieser »umweltfreundlichen« mechanischen Technologie liefert das Beispiel nach Bild 22. Die Ritztechnik kann ja nach den geschilderten Kriterien als Domäne der diskreten Transistortechnik betrachtet werden. Für sie aber gibt es noch immer manche Anwendung – nicht nur beim Anfänger. Bild 22 stellt eine Lösung des Problems »Einschlafmusik« dar. In der vorliegenden Dimensionierung wird die Schaltung zwischen die Batterie und die Batterieanschlüsse eines von 6 bis 9 V versorgten Taschenradios gelegt (ältere, noch weit verbreitete pnp-Germanium-Transistortechnik). Die im allgemeinen geringe erforderliche Einschlaflautstärke bedeutet bei 9-V-Modellen typisch meist nur etwa 5 mA Stromaufnahme. Schon mit Basisströmen weit unter 1 mA ist daher der Epitaxie-Planartransistor in der »Endstufe« des Zeitschalters bis auf etwa 0,1 V Restspannung geöffnet. Der Widerstand von 22 Ω im Emitterzweig begrenzt den Ladestromstoß des Entkopplungskondensators am Geräteeingang auf zulässige Werte. Dieser Kondensator vermindert ein größeres Verschlechtern der Wiedergabe bei kleiner werdender Betriebsspannung (kurz vor dem Abschalten). Der 1. Transistor, da er im Grenzfall um 100 $\mu$A Kollektorstrom aufbringen muß, benötigt bei einer Stromverstärkung von 200 oder mehr praktisch nur einige hundert Nanoampère Basisstrom. Sie werden über den mit etwa 4,7 MΩ angegebenen Vorwiderstand bereitgestellt, solange der Kondensator am Eingang noch genügend Spannung führt. Je nach Stromverstärkungen und Gerätestrom muß dieser Widerstand vielleicht noch etwas verkleinert werden (z. B. auf 2,2 MΩ). Da ein Kreis aus C, R und Basis-Emitter-Strecke allein im Grenzbereich infolge der Diodenkennlinie den Transistor im Verlauf der Kondensatorentladung nur sehr langsam völlig sperrt, was die Batterie unnötig lange belastet, wurde dem reichlicher dimensionierten Kondensator ein (einstellbarer) Entladewiderstand parallelgeschaltet. Bis auf den genannten Grenzbereich können damit (für $U_C \gg U_{BE}$) dieser und der Vorwiderstand als Parallelschaltung »$R_p$« bezüglich des Entladevorgangs gerechnet werden. Damit lautet die Näherungsrechnung für die Zeit: $t \approx R_p \cdot C \cdot [\ln U_{ZD} - \ln U_{min}]$. Dabei bedenke man, daß C gegenüber Nennwert um +50 %, aber auch um – 20 % abweichen kann! Die Z-Diode stellt zum einen sicher, daß die ermittelte (gewünschte und eingestellte) Betriebszeit – in dieser Dimensionierung sind auf Grund der geringen Selbstentladung moderner Elektrolytkondensatoren etwa 30 Minuten unschwer zu erreichen – auch bei alternder Batterie in etwa konstant bleibt. Zum anderen erlaubt sie den

Einsatz eines platzgünstigen 6,3-V-Typs. Unstabilisiert ließe sich anfangs eine längere Zeit erreichen, die dann aber täglich kürzer würde.

Die in Bild 23 dargestellte Ritzschaltung paßt in die Hülle einer Streichholzschachtel. Man sollte also die Möglichkeiten dieser Technologie durchaus nicht unterschätzen. Auf leicht angerauhte Kupferfolie können das Trennlinienbild und sogar die Bohrpunkte mit Blau- oder Ormigpapier direkt aus dem Bauplan übertragen werden. Beim Löten wähle man übrigens einen etwas leistungsfähigeren Lötkolben als den sonst für Leiterplatten gewohnten, z. B. 40 W. Die größeren Kupferflächen führen viel Wärme ab!

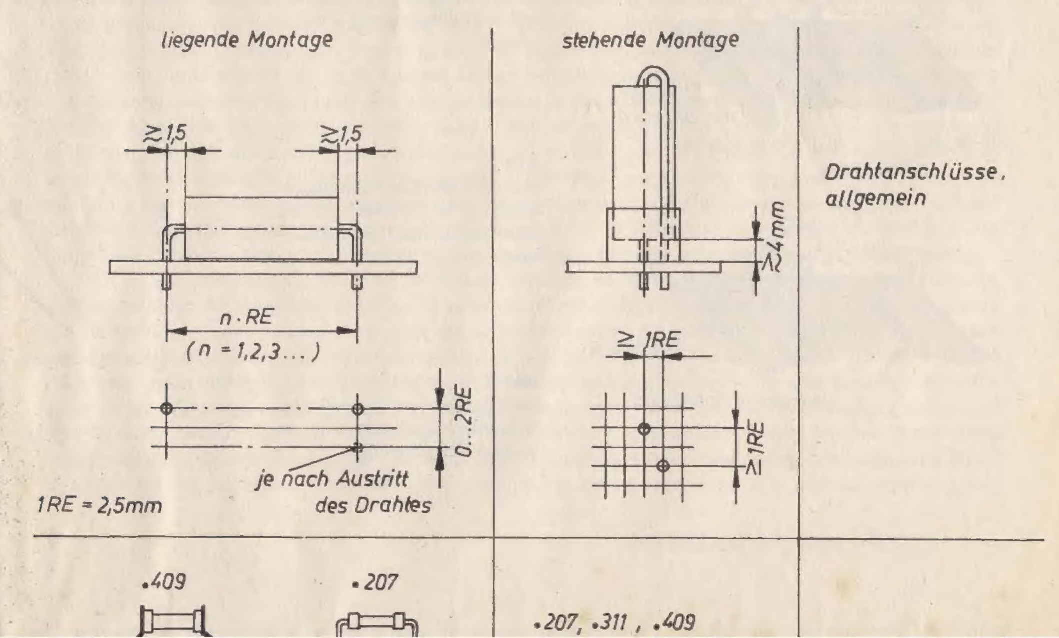
## 8.3. Weg 3 – gezeichnete Deckschicht mit »typofix«-Punkten (vgl. Abschnitt 6.2 und Abschnitt 6.3)

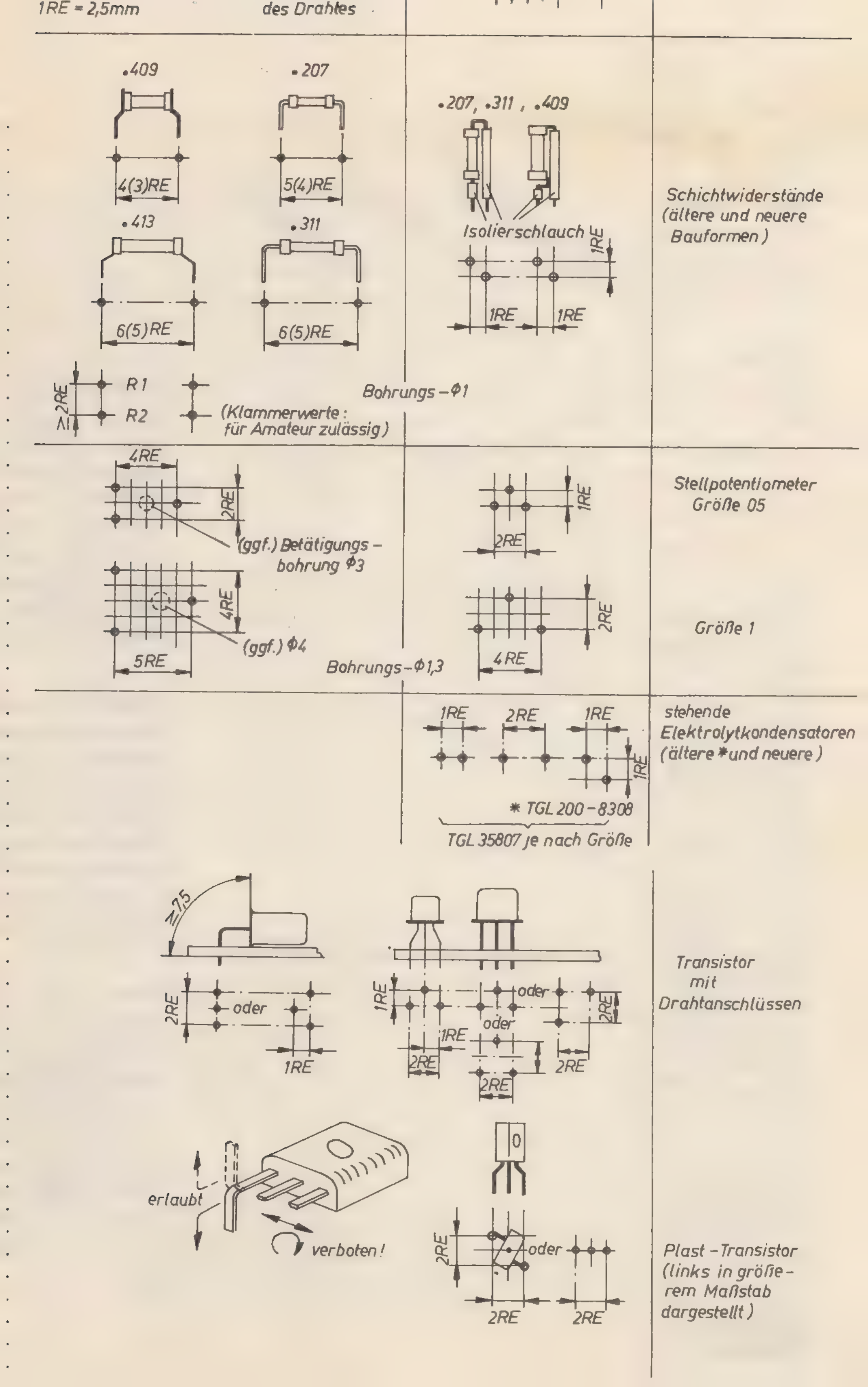
Hierfür möge das Foto eines Transverters für den Betrieb eines aus MOS- und analogen OPV-Schaltkreisen bestehenden Geräts über Monozellen bzw. 6-V-Autobatterie genügen (Bild 24). (Den Stromlaufplan einer dieser ähnlichen Schaltung findet man z. B. in Bauplan 43.)

## 8.4. Weg 4 – Komplette Leiterplatten von der »typofix«-Folie: »Viertonkreisel«

Auf der »typofix«-Folie zu diesem Bauplan ist als etwas spielerische Anwendung für komplette Leiterbilder ein Mehrtongenerator enthalten. Dieser einfache »Melodiegenerator« liefert 4 aufeinanderfolgende Töne mit periodischer Lautstärkeänderung: 4 laute Töne folgen 4 leisen usw., so als ob sich die Schallquelle »drehen« würde. Die Tonfolge muß nicht bei einem bestimmten Ton beginnen und enden, wenn es nur um den Signaleffekt geht. Daher genügt zum Betrieb eine Batterie, die für die gewünschte Zeit eingeschaltet wird. Als zweckmäßige Quelle bieten sich drei 2-V-Taschenlampenakkumulatoren an und eine Diode in Serie, so daß aus 6 V etwas mehr als die nötigen 5 V werden. Bild 25 zeigt den Stromlaufplan und Bild 26 die Leiterplatte des Bausteins. Die Widerstände sind stehend zu montieren. Ihre Werte können je nach erreichtem Effekt etwas variieren.

**Tabelle 2**
Empfohlene Lötaugenabstände für die gebräuchlichsten Bauelemente (1RE = 2,5 mm)




1RE = 2,5mm
des Drahtes
.409
.207
4(3)RE
5(4)RE
.413
.311
6(5)RE
6(5)RE
R1
R2
≥ 2RE
(Klammerwerte: für Amateur zulässig)
.207, .311, .409
Isolierschlauch
1RE
1RE
1RE
Bohrungs-Φ1
Schichtwiderstände (ältere und neuere Bauformen)
4RE
2RE
(ggf.) Betätigungs-bohrung Φ3
4RE
5RE
(ggf.) Φ4
Bohrungs-Φ1,3
1RE
2RE
2RE
4RE
Stellpotentiometer Größe 05
Größe 1
1RE
2RE
1RE
1RE
* TGL 200-8308
TGL 35807 je nach Größe
stehende Elektrolytkondensatoren (ältere *und neuere)
≥7,5
2RE
oder
1RE
1RE
oder
oder
1RE
2RE
2RE
2RE
2RE
Transistor mit Drahtanschlüssen
0
erlaubt
verboten!
2RE
oder
2RE
2RE
Plast-Transistor (links in größerem Maßstab dargestellt)

# 9. Literatur

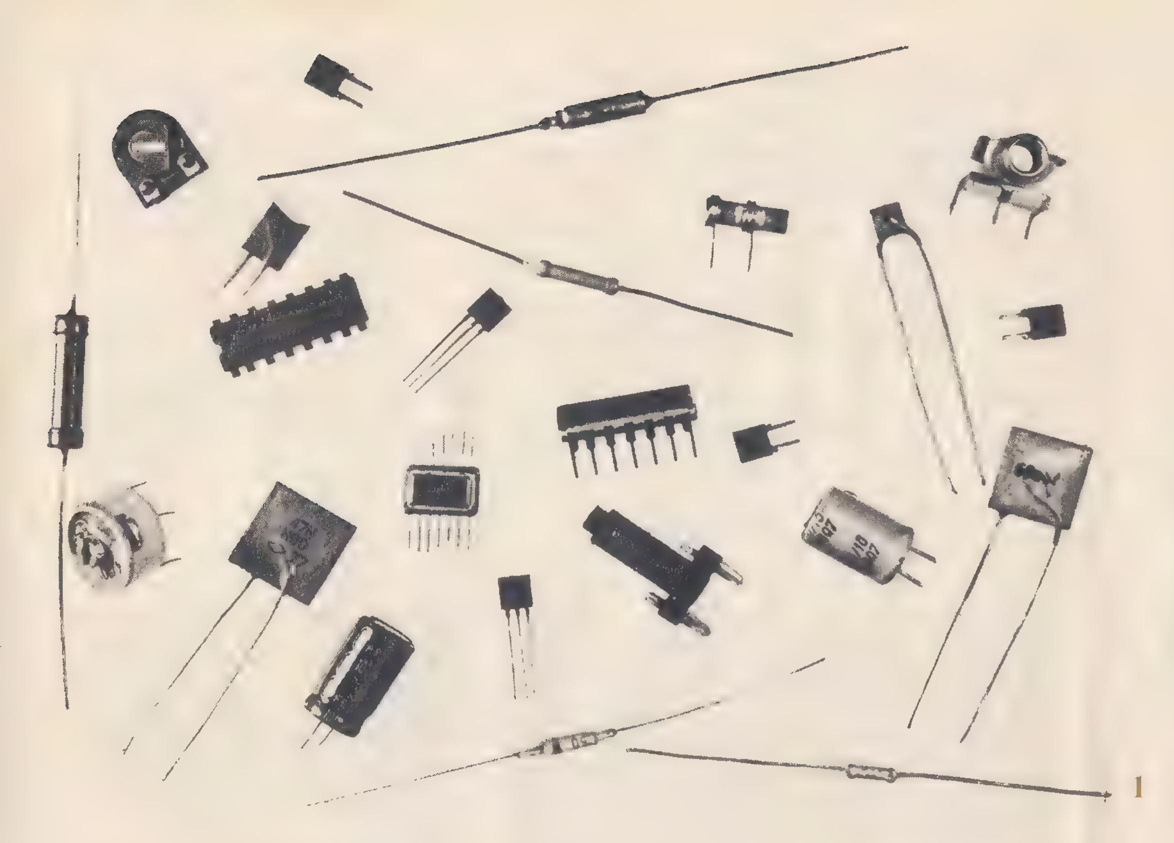
Abgesehen von gelegentlichen Beiträgen, vor allem im »FUNKAMATEUR«, und Hinweisen in den laufenden Bauplänen, sind bisher die umfassendsten Informationen »Von der Leiterplatte bis zum Gerät« in der 1976 erschienenen (stark bearbeiteten) 2. Auflage des Buches »Amateurtechnologie – von der Schaltung zum Gerät« enthalten.

# 10. »typofix«-Folie zum Bauplan

Diese Folie enthält diesmal 3 Komponenten: den »Viertonkreisel« nach Abschnitt 8.4. als gewohntes komplettes Leiterbild zum Abreiben, einige Lötaugen- und Leitergruppen zur Selbstmontage von Einzelleiterplatten gemäß Abschnitt 8.3. und eine Art Zugabe, die für das Selbstherstellen sauberer vergrößerter Fotovorlagen geeignet ist. Es handelt sich um Lötaugen im Maßstab 1,5 : 1 und in Abständen von 3,75 mm bzw. Vielfachen davon zueinander, außerdem um entsprechend vergrößerte Leiterzugstücken. Legt man auf das in Bild 27 enthaltene 1,5 : 1-Raster Transparentpapier (gegen Verschieben sichern!), so kann darauf das Leiterbild zuerst skizziert und anschließend vergrößert »abgeklebt« werden, ggf. mit Tuschepartien ergänzt. So entsteht eine gut verwendbare Fotovorlage für »Profis«!

**Tabelle 1** Verfahren zur Herstellung von Leiterplatten

| Verfahren | mögliche Leiterdichte | Produktivität | Anwendung | technologischer Umfang |
|---|---|---|---|---|
| mechanisches Abtragen | klein | sehr klein (außer beim maschinellen Fräsen) | Einzelstücken beim Amateur und im Entwicklungslabor; mit speziellen Einrichtungen auch Serien | sehr klein (außer beim maschinellen Fräsen); kein Ätzen! |
| gezeichnete Deckschicht und nachfolgendes Ätzen | mittel | klein | Einzelstücken beim Amateur und im Entwicklungslabor | sehr klein |
| ätzfeste »typofix«-Folie | mittel bis hoch | klein | | |
| fotomechanisches Verfahren (mit Ätzen) | sehr hoch | mittel | Entwicklungslabor, Kleinserien, Amateur (Arbeitsgemeinschaften) | mittel |
| Siebdruck (mit Ätzen) | mittel | hoch | mittlere Serien, Arbeitsgemeinschaften | mittel |
| Offsetdruck (mit Ätzen) | hoch | sehr hoch | Großserien | hoch |
| additive Verfahren (chemisches Aufbringen von Leiterbahnen) | mittel bis hoch, besonders bei durchkontaktierten Löchern | hoch bis sehr hoch | Großserien; wichtiges Detail: Durchkontaktieren (Mehrlagenschaltungen) | sehr hoch |



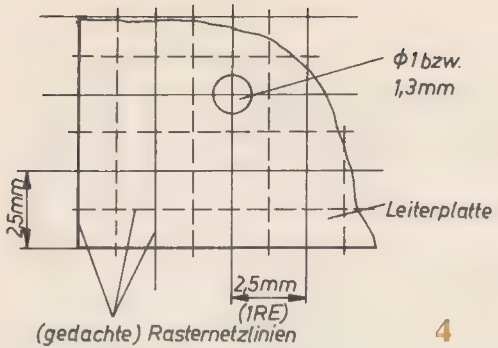
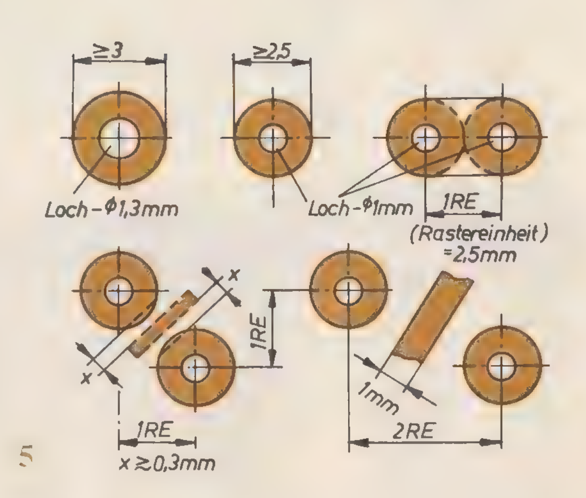



**Bild 5**
Unter Amateurbedingungen übliche Leiterbreiten, Lötaugengrößen und -abstände. Verringert man die Durchmesser der linken Diagonalanordnung auf 1,8 bis 2 mm bzw. schneidet die Kreise entsprechend an, so kann auch dort noch ein schmaler Leiter durchgelegt werden. Mindestabstände > 0,3 mm halten!

**Bild 4**
In die Kreuzungspunkte dieses gedachten Rasternetzes legt man auf der Leiterplatte die Bohrungen für die Bauelemente (Lochdurchmesser vorwiegend 1 mm, siehe Text; gestrichelt: Sekundärraster 1,25 mm)



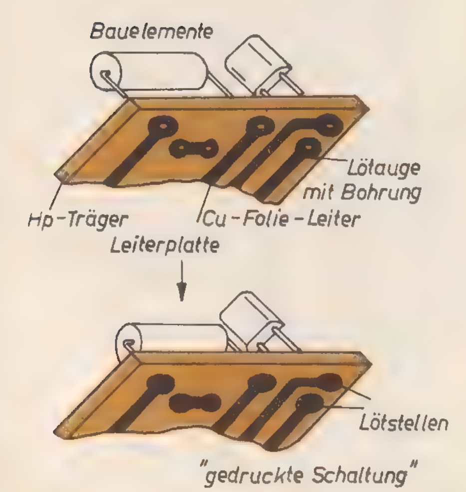
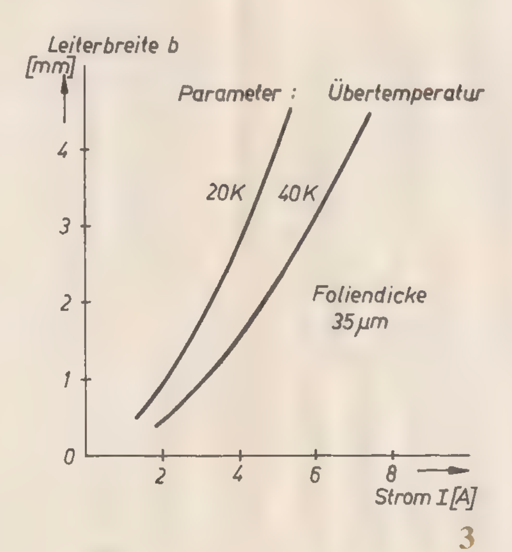



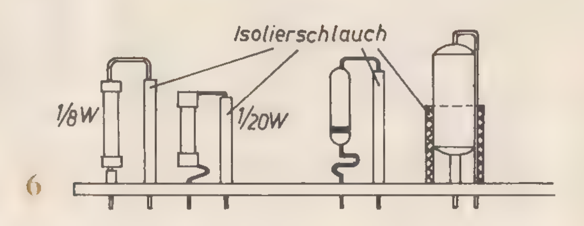


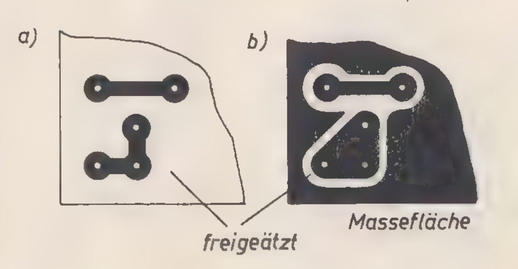

**Bild 1**
Solche Bauelemente sind heute »leiterplattenüblich«. Viele tragen Anschlüsse in nur 2,5 mm Abstand

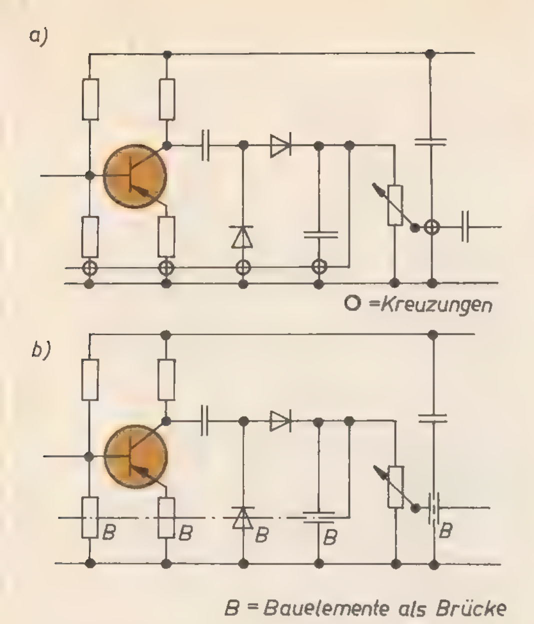
**Bild 2**
Aus der Leiterplatte wird durch Einsetzen und Einlöten der Bauelemente die »gedruckte Schaltung«

**Bild 3**
Belastbarkeit von 35 $\mu$m dicken Folieleitern hinsichtlich einer zulässigen Übertemperatur

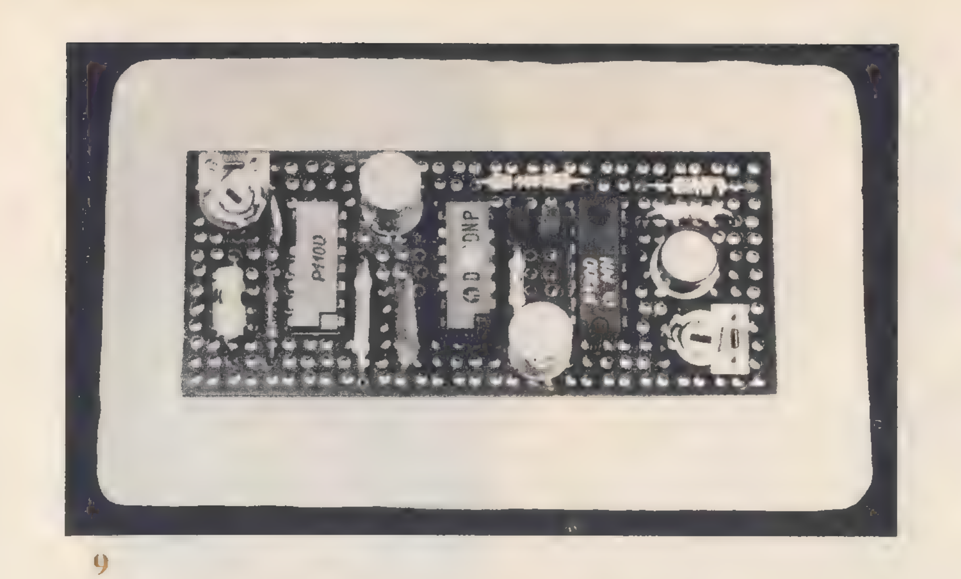


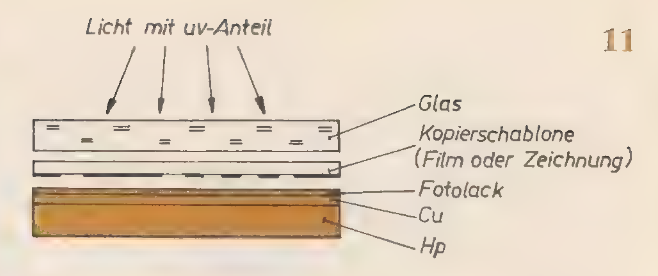





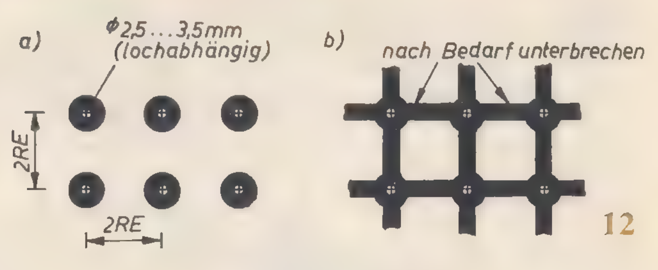

8



9




11



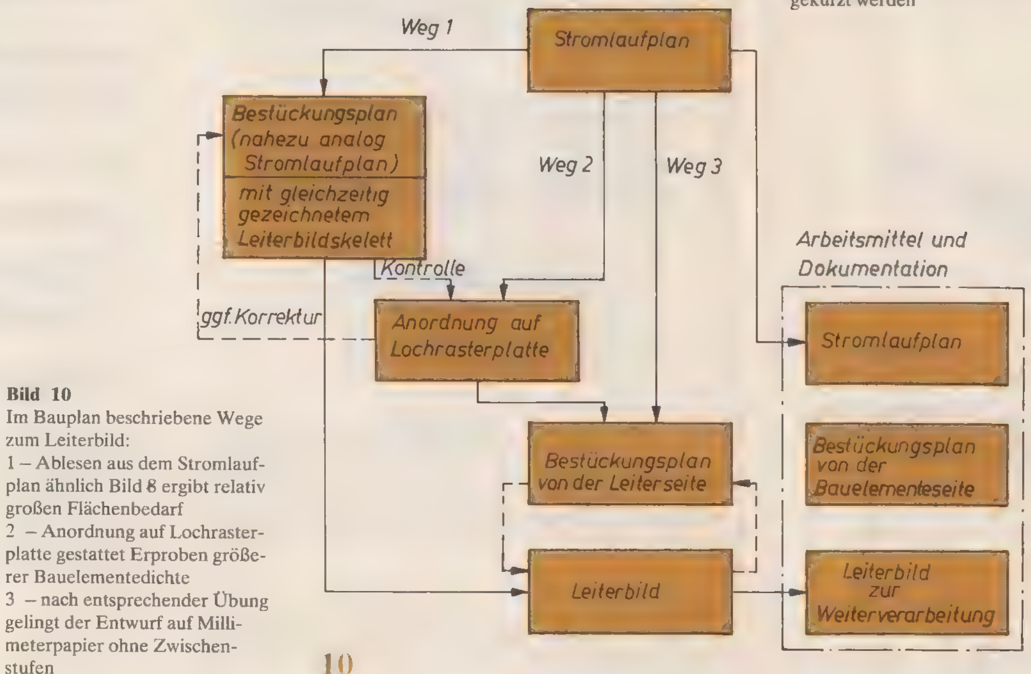

12

**Bild 6**
Vertikal montierte Bauelemente für ursprünglich liegende Montage bringen große Bestückungsdichte, aber auch Stabilitäts- (Berührungs-), Prüf- und Reparaturprobleme. Maschinelles Bestücken ist (mindestens) stark erschwert

**Bild 7**
Leiterbildformen: a – für gezeichnete Deckschicht und für »typofix«-Bildmontage günstig (sowie industriell für maschinelles Zeichnen); b – große Kupferflächen bringen kleinen Ätzmittelbedarf, sind niederohmig und erlauben HF-günstige Leiterbilder. Als »Trennlinienmuster« gezeichnet, ergeben sich einfache Direktnegative für das fotomechanische Verfahren mit Negativlack

**Bild 8**
Auf diese Weise liest man aus einem Stromlaufplan (a) eine kreuzungsfreie Leitungsführung ab (b)

**Bild 9**
Lochrasterplatte mit Schaumpolystyrol-Unterlage für Anordnungsproben. Die Bauelementeanschlüsse müssen bei ausreichend dickem Material nicht gekürzt werden




10

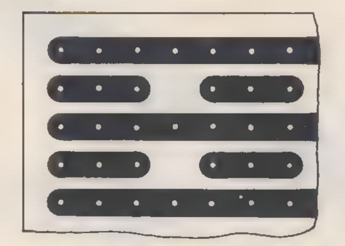
**Bild 10**
Im Bauplan beschriebene Wege zum Leiterbild:
1 – Ablesen aus dem Stromlaufplan ähnlich Bild 8 ergibt relativ großen Flächenbedarf
2 – Anordnung auf Lochrasterplatte gestattet Erproben größerer Bauelementedichte
3 – nach entsprechender Übung gelingt der Entwurf auf Millimeterpapier ohne Zwischenstufen

**Bild 11**
So müssen lichtundurchlässige Schicht (Leiterzüge bei Positiv-, Trennlinien bei Negativkopierlack) und Fotolackschicht auf der Kupferfolie der Leiterplatte zueinander liegen, damit randscharf kopiert wird (Darstellung zum besseren Erkennen auseinandergezogen; mit Glasplatte andrücken!)

**Bild 12**
Lötpunktplatte (a) und ihr Gegenstück »Gittermuster« (b). Bei (a) sind die nötigen Verbindungen mit Draht herzustellen, bei (b) die überflüssigen Brücken herauszuschälen. Da (b) auch in »typofix« vorliegt, empfiehlt es sich, bereits auf der Folie die nicht benötigten Partien herauszukratzen



13



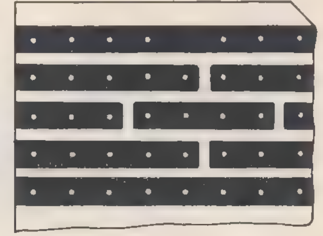






**Bild 13**
Mögliche Mehrzweckplattenstrukturen

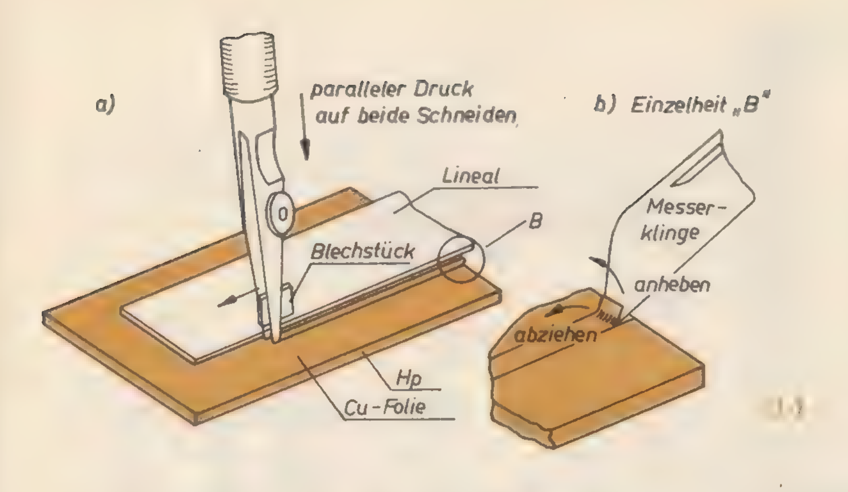



**Bild 14**
Ritzen einer Leiterplatte mit scharfgeschliffener Ziehfeder




**Bild 15**
Diese Röhrchenfedern gibt es in mehreren Durchmessern

**Bild 16**
Tuschefüller Skribent, erhältlich in den Linienbreiten von 0,2 bis 1,2 mm. Für Leiterplatten mittleren Schwierigkeitsgrads gut geeignet ist die Breite 0,6

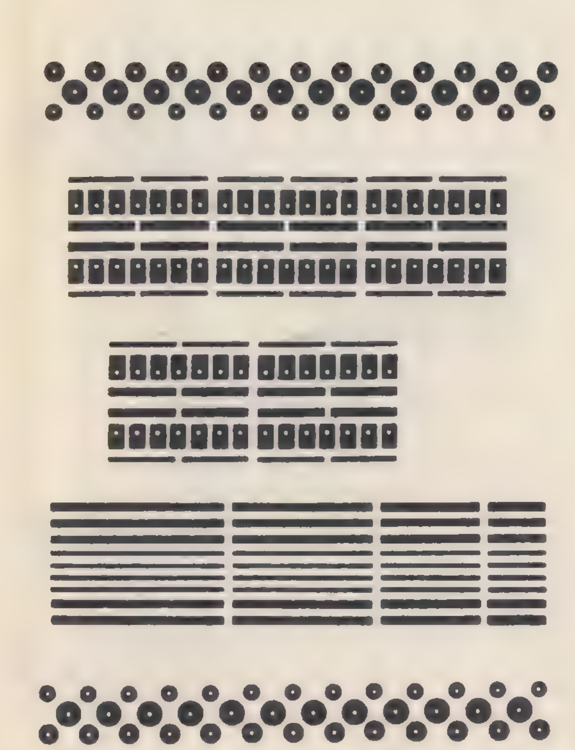


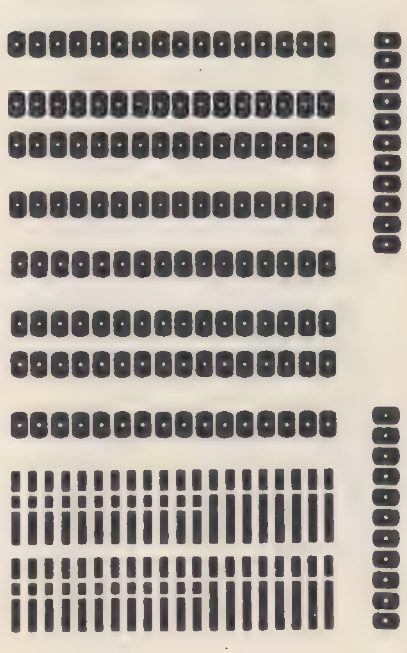


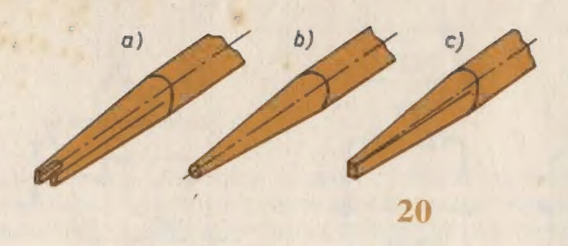


**Bild 17**
In solchen Plastflaschen werden Abdecklack (1 ×) und Ätzmittel (2 ×) als Ätzsatz gehandelt

**Bild 18**
a – Runde Lötaugen verschiedener Durchmesser, Anschlußgruppen für integrierte Schaltkreise und kurze Leiterbahnen im »typofix-electronic-special«-Blatt zu Bauplan 37; b – Anschlußgruppen für integrierte Schaltkreise und nach Rasterabständen gestufte kurze Leiterbahnen im »typofix-electronic-special«-Blatt zu Bauplan 46

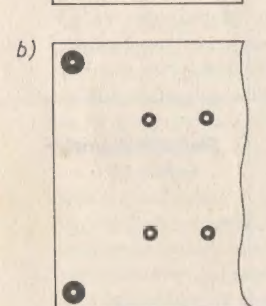


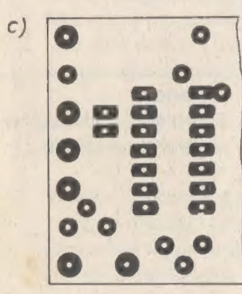



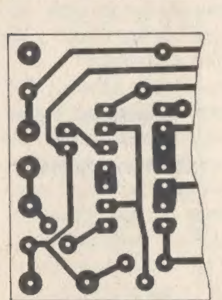


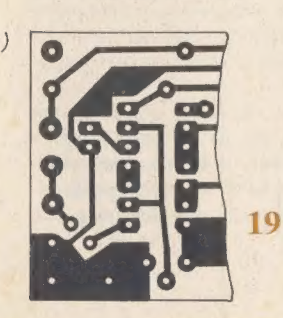

20

**Bild 20**
Lötkolbenspitzen für Leiterplattenarbeiten: a – Gabel, b – Kegel, c – Pyramidenstumpf



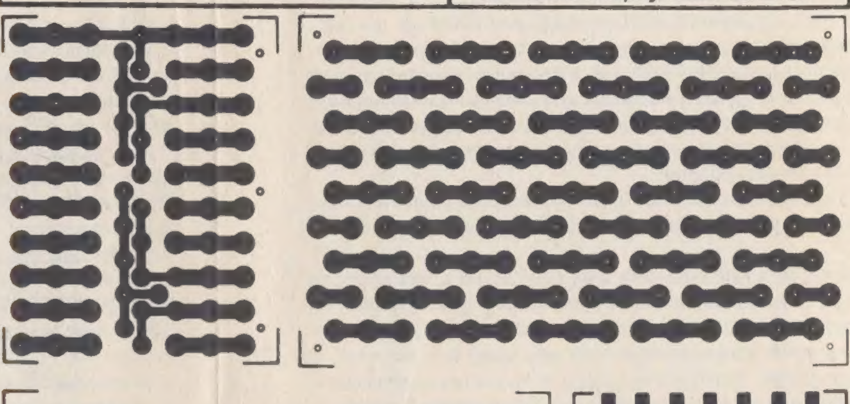



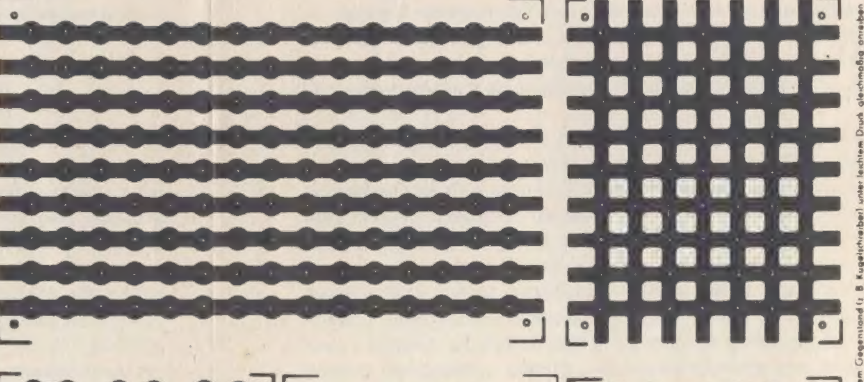



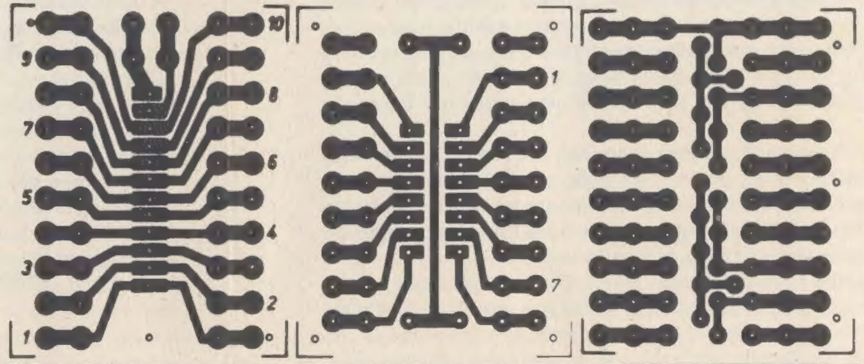

d)

19

**Bild 19**
Mögliche Arbeitsgänge für eine kombiniert abgeriebene und gezeichnete Leiterplatte (als Skizzen dargestellt, da Fotos wegen der Folienreflexe weniger Details liefern): a – einige Körnerpunkte markieren die Lage von zur Orientierung benutzten Lötaugen; b – Aufreiben der so gekennzeichneten Lötaugen; c – von den Zielpunkten aus können die weiteren Lötaugengruppen rastergenau abgerieben werden; d - mit Bleistift vorgezeichnete Verbindungen werden mit Leiterzugstücken aufgerieben; e-Freiflächen (meist Masseflächen) bei Bedarf mit Decklack ausfüllen






Blatt 3042 16618/T 5 80 V15-3 Mg-G 424-80 Grafischer Spezialbetrieb Saalfeld Betrieb der VOB Aufwärts EVP 1,65 M

21

**Bild 21**
Für Anfänger geeignete Universalplattenstrukturen gemäß »typofix«-Folie zu Band 26/27 der Reihe »Der junge Funker«

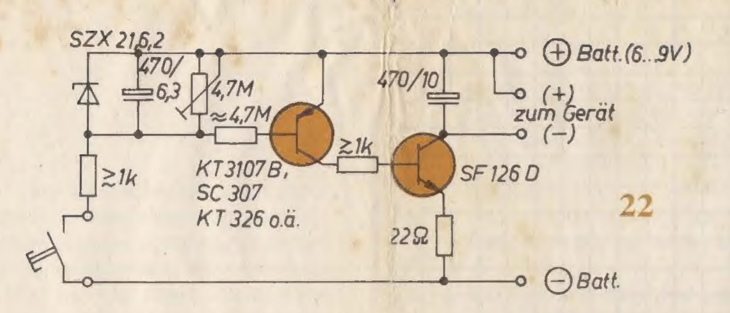
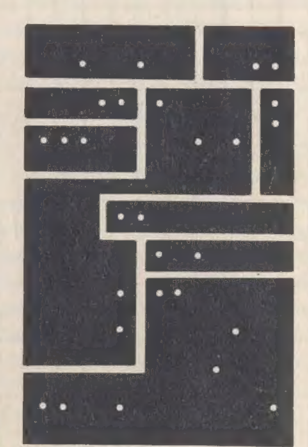
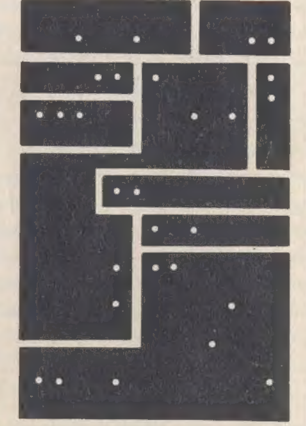
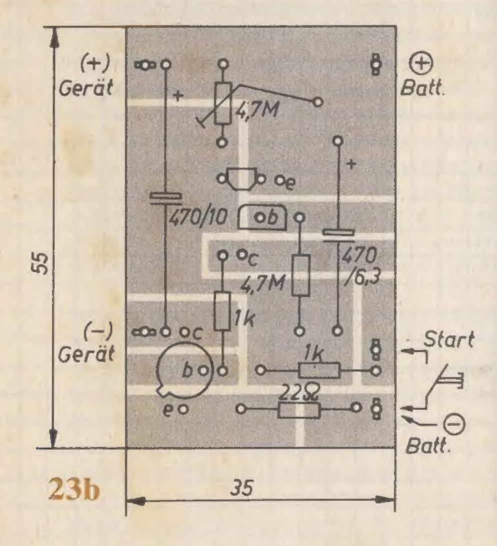
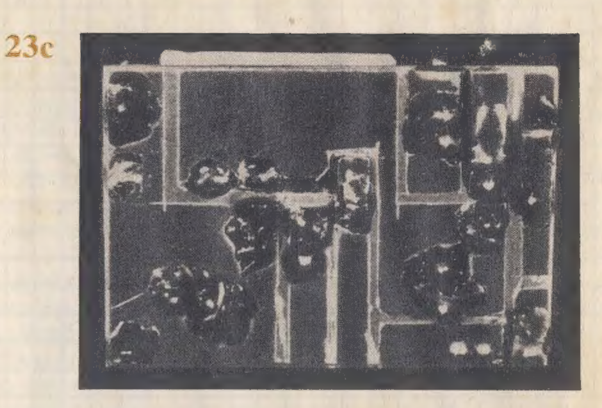
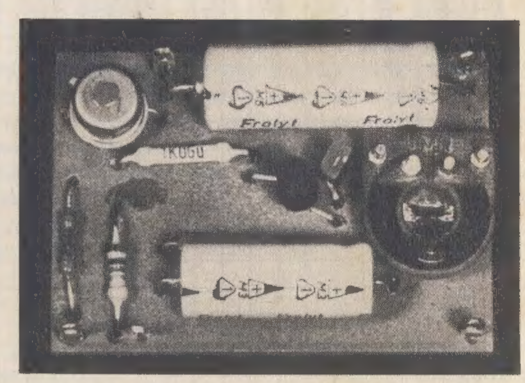



**Bild 22**
Für Ritztechnik geeigneter Zeitschalter für Taschenempfänger u. ä.

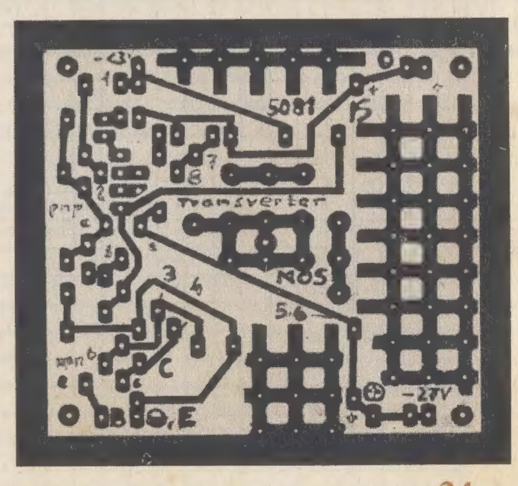




**Bild 23**
a – Ritzplatte (zum direkten Kopieren der Trennlinien und Punkte über Blaupapier auf Kupferfolie geeignet!), b – Bestückungsplan zu Bild 22; c – Leiterseite des Musters, d – Bestückungsseite

**Bild 24**
In Kombination von »typofix« und Decklack (hier für die Beschriftung) entstandene Leiterplatte für einen speziellen Transverterbaustein (s. Text)

1. Auflage · © Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) – Berlin, 1983 · Lizenz-Nr. 5 · LSV: 3539 · Lektor: Rainer Erlekampf · Typografie: Helmut Herrmann · Printed in the German Democratic Republic Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Sachsendruck Plauen · Redaktionsschluß: 20. April 1982 · Bestellnummer: 746 467 0

25

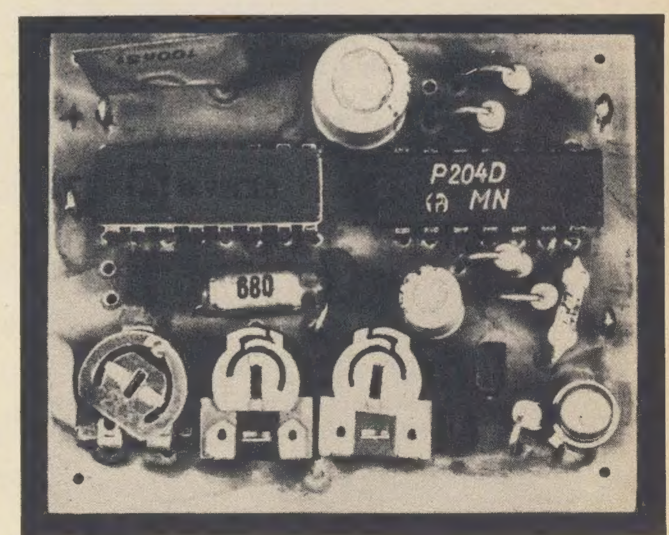
26a

26b

**Bild 25**
»Viertonkreisel« für Signaltonzwecke Lautsprechersymbol bedeutet 400-Ω- oder 54-Ω- Hörkapsel, ggf. SAY 17 parallellegen, Katode an Plus

**Bild 26**
a – Leiterbild, b – Bestückungsplan zu Bild 25. Das Leiterbild entstand ursprünglich aus Foliestücken der »typofix«-Blätter zu den Bauplänen 37 und 46; c – Musterplatte

**Bild 27**
a-Rasternetz im Maßstab 1,5 : 1 für den Entwurf vergrößerter Leiterbildvorlagen in Verbindung mit 1,5 : 1-»typofix«-Rasterfolie auf Transparentpapier (vgl. »typofix«-Blatt zu diesem Bauplan!); b- Punktraster in gleichem Maßstab




26c

